



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 199 50 813 A 1**

51 Int. Cl. 7:
F 16 C 33/62

19

21 Aktenzeichen: 199 50 813.5
22 Anmeldetag: 21. 10. 1999
43 Offenlegungstag: 11. 5. 2000

DE 199 50 813 A 1

30 Unionspriorität:

P 10-301182 22. 10. 1998 JP
P 11-18913 27. 01. 1999 JP
P 11-169735 16. 06. 1999 JP

71 Anmelder:

NSK Ltd., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,
80538 München

72 Erfinder:

Takemura, Hiromichi, Fujisawa, Kanagawa, JP;
Sekino, Kazuo, Fujisawa, Kanagawa, JP; Okita,
Shigeru, Fujisawa, Kanagawa, JP; Murakami,
Yasuo, Fujisawa, Kanagawa, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Wälzlager

57 Als ein Stahlmaterial für einen inneren Ring, einen äußeren Ring und ein Rollelement, die ein Wälzlager bilden, wird ein Stahl verwendet, der Kohlenstoff (C) und Chrom (Cr) in einer Menge von jeweils 0,65 Gew.-% bis 1,1 Gew.-% und 2,0 Gew.-% bis 6,0 Gew.-% enthält. Zumindest eines von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement ist aus dem Stahlmaterial gebildet. Der innere Ring, der äußere Ring und das Rollelement, die auf diese Weise geformt werden, werden dann einem Härten, Anlassen und Polieren ausgesetzt. Darüber hinaus ist eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, auf einer Laufbahnoberfläche auf zumindest einem von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement ausgebildet. Wenn das Wälzlager verwendet wird, beim Betrieb mit einem Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem Wasser beige-mischt wurde, sind feinkörnige Molybdäncarbide und/oder Vanadiumcarbide, die einen Partikeldurchmesser von 50 nm bis 300 nm aufweisen, in der Matrix verteilt.

DE 199 50 813 A 1

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

1. Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Wälzlager, das für automatische Autogetriebe geeignet ist, das verlängerte Standzeit gegen Anfressen aufweist, sogar wenn es mit einem Schmierstoff betrieben wird, der einen hohen Reibungskoeffizienten aufweist mit darin eingemischten Fremdmaterialien, ein Wälzlager, welches eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen aufweist, sogar wenn es in einem Nebenaggregat eines Fahrzeuges betrieben wird, das möglicherweise durch Wasser verschmutzt ist, das es schwierig macht, einen Schmierfilm auszubilden, und ein Wälzlager, welches eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen aufweist, sogar wenn es mit Schmierstoff von hohem Reibungswiderstand betrieben wird, dem fremde Materialien und Wasser beigemischt sind. Die vorliegende Erfindung bezieht sich auch auf Teile und die Lagerung von stufenlosen Torodoidgetrieben, die große Tangentialkräfte bei hohen Temperaturen unter großer Belastung erzeugen.

2. Beschreibung des Standes der Technik

Im allgemeinen werden der Innenring, der Außenring und die Rollelemente, die ein konventionelles Wälzlager bilden, durch Formen eines stark kohlenstoffhaltigen Chromstahls (insbesondere SUJ2 Stahl) in eine vorher bestimmte Form gebildet, und dann Härten und Anlassen des Materials, so daß seine Oberflächenhärte und die Menge des beibehaltenen Austenits jeweils bei ungefähr HRC 62 und ungefähr 10 Vol.-% liegen.

Auf der anderen Seite weist ein automatisches Getriebe für Kraftfahrzeuge einen Drehmomentwandler, einen Getriebemechanismus, hydraulische Mechanismen, Naßkupplung, etc. darin auf. Um es diesen Mechanismen zu erlauben, zur Kraftübertragung gleichmäßig zu arbeiten, verwenden die Wälzlager für Automatikgetriebe ein Schmiermittel, welches einen hohen Reibungskoeffizienten (Automatikgetriebeöl: ATF) aufweisen. Entsprechend, wenn die zuvor genannten konventionellen Wälzlager verwendet werden, nehmen die Tangentialkräfte zwischen der Laufbahnoberfläche des Laufbahnringes und der Rolloberfläche des Rollelementes zu während des Betriebs des Automatikgetriebes, wodurch ein Zerstören des Schmierfilms und somit ein frühzeitiges Fressen der Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche erleichtert wird.

Darüber hinaus, da das Wälzlager, das in einem Automatikgetriebe angebracht ist, der Verschmutzung des Schmiermittels durch Metallspäne, Abscherungen, Grade, Abriebpulver und dergleichen ausgesetzt. Wenn das zuvor genannte konventionelle Wälzlager mit Schmierstoff betrieben wird, dem diese fremden Materialien beigemischt sind, verursachen diese fremden Materialien das Ausbilden von Vertiefungen auf der Laufbahnoberfläche des Lagerungsringes oder der Rolloberfläche des Rollelementes. Mit diesen Vertiefungen als Startpunkte tritt ein stückweises Aufbrechen (Fressen) auf, wodurch die Lebensdauer des Wälzlagers drastisch reduziert wird.

Als eine konventionelle Technik zum Verhindern des frühen Fressens der Laufbahnoberfläche ist in der JP-A-4-28845 (der Ausdruck "JP-A", wie er hier verwendet wird, bedeutet "nichtgeprüfte japanische Patentveröffentlichung (kokai)") ein Weg offenbart, der das Ausbilden eines Lagerrings für Wälzlager aus Stahl vorsieht, der als Legierungsbestandteile 0,65 bis 0,90 Gew.-% von C, 0,15 bis 0,50 Gew.-% von Si, 0,15 bis 1,0 Gew.-% von Mn und von 2,0 bis 5,0 Gew.-% von Cr aufweist. Diese Technik ist für Wälzlager gedacht, welche unter Vibrationen oder Schlagbelastung aufgrund hoher Drehzahlen betrieben werden. Es wird beschrieben, daß die Ursache des frühen Fressens auf der Laufbahnoberfläche unter solchen Betriebsbedingungen ein Mechanismus ist, bei dem C in dem Material an Stellen diffundiert, wo die maximale Scherbeanspruchung auftritt, und dann dort verbleibt, um eine harte und brüchige weiße Schicht auszubilden. Es wird behauptet, daß die Verwendung eines Stahlmaterials, das die vorgenannte Zusammensetzung mit niedriger C-Konzentration und hoher Cr-Konzentration das Ausbilden einer solchen weißen Schicht erschwert, wodurch das Auftreten des frühen Fressens auf der Laufbahnoberfläche verhindert wird.

Als eine konventionelle Technik zum Verlängern der Lebensdauer eines Wälzlagers, das unter Schmiermittel mit darin eingemischten Fremdmaterialien betrieben wird, wird in der JP-B-6-11899 (der Ausdruck "JP-B", wie er hier verwendet wird, bedeutet, "geprüfte japanische Patentveröffentlichung"), ein Weg offenbart, der das Aussetzen eines Stahlmaterials, das die Legierungsbestandteile von 0,4 bis 0,8 Gew.-% C, von 0,3 bis 1,2 Gew.-% Si, nicht mehr als 1,0 Gew.-% Mn, von 4,0 bis 8,0 Gew.-% von Cr und von 0,1 bis 1,0 Gew.-% von Mo als Lagerungsstahl aufweist, einem Carbonisieren oder Carbonitrieren, um Carbide oder Carbonitride auf seiner Oberfläche in einem Flächenverhältnis von ungefähr 20 bis 35% auszubilden. Es wird behauptet, daß entsprechend dieser Technik die Definition der Zusammensetzung des zu verwendenden Stahlmaterials es möglich macht, die Härte und Widerstandsfähigkeit der Matrix durch Anlaßglühen zu verbessern und feine Partikel von $M_{23}C_6$ - oder M_7C_3 -artigen Carbiden oder Carbonitriden, die in der Oberflächenschicht verteilt und abgelagert werden, zu veranlassen, die Oberflächenschicht zu festigen, wodurch die Lebensdauer des Lagerungsringes verlängert wird, der mit Schmiermittel betrieben wird, dem fremde Materialien beigemischt sind.

Jedoch, solch ein Wälzlager, das das Schmiermittel mit hohem Reibungskoeffizienten, dem fremde Materialien beigemischt sind, wie das zuvor genannte Wälzlager für Automatikgetriebe für Kraftfahrzeuge, kann nicht der Erwartung genügen, eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen aufzuweisen, wenn die zuvor genannte konventionelle Technik angewendet wird. Der Weg zum Verlängern der Lebensdauer eines Wälzlagers, das mit Schmiermittel betrieben wird, dem fremde Materialien beigemischt sind, wie es in der JP-B-6-11899 beschrieben ist, ist hinsichtlich des Erfordernisses des Carbonisierens oder Carbonitrierens nachteilig, wodurch die Kosten für die Werkstätte steigen, und die Herstellungskosten erhöht werden.

Darüber hinaus ist ein Wälzlager, das mit hohem Reibungskoeffizienten und bei hohen Temperaturen betrieben wird, einer Verschmutzung des Schmiermittels durch Wassertropfen ausgesetzt, welche durch Kondensation von Wasserdampf in dem Raum um das Lager aufgrund plötzlicher Temperaturänderungen beim Betrieb erzeugt wurden. Darüber hinaus

kann Wasser, das im automatischen Getriebe nach dem Waschen mit Wasser oder dergleichen geblieben ist, das Schmiermittel verschmutzen. Solch ein Wälzlager, das mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten mit beigemischtem Wasser betrieben wird, ist nachteilig in der Weise, daß ein Schmierfilm sich kaum ausbilden kann auf der Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche. Das Schmiermittel, sofern welches vorhanden ist, kann leicht zerstört werden durch zunehmende Tangentialkräfte, wie oben erwähnt. Dadurch kann an ein solches Wälzlager nicht die Anforderung gestellt werden, eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen aufzuweisen, wenn die zuvor genannte konventionelle Technik angewendet wurde.

Auf der anderen Seite, offenbart JP-B-7-110988 als ein Wälzlager, das eine verlängerte Standzeit aufweist, die wünschenswert ist für das Getriebe oder den Motor, ein Wälzlager, welches einen Laufring und ein Rollelement aufweist, von denen zumindest eines aus einem Legierungsstahl hergestellt ist, der zumindest von 0,3 bis 0,6 Gew.-% C und von 3 bis 14 Gew.-% Cr aufweist und eine Oberflächenschicht aufweist, die durch Carbonieren oder Carbonitrieren des Materials erzeugt wird und dann das Material einer Wärmebehandlung unterzogen wird, so daß es gehärtet wird, wobei die Oberflächenschicht feinkörnige Carbide und zurückgehaltenen Austenit in einer Menge von jeweils 20 bis 50 Vol.-% und von 10 bis 25 Vol.-% aufweist. Das derart vorgeschlagene Wälzlager weist eine längere Standzeit auf als das konventionelle Wälzlager, wenn es mit Schmiermittel betrieben wird mit, wie Turbinenöl, das durch fremde Materialien verschmutzt ist. Jedoch läßt dieses Wälzlager noch Wünsche offen hinsichtlich der vorhandenen Lebensdauer, wenn es mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten betrieben wird, dem fremde Materialien und Wasser beigemischt sind.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein Wälzlager bereitzustellen, welches eine verlängerte Standzeit aufweist, sogar wenn es betrieben wird mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem fremde Materialien beigemischt sind, und das unter Schmieren von hohen Reibungskoeffizienten mit beigemischtem Wasser betrieben wird.

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung weist ein Wälzlager einen Innenring, einen Außenring und ein Rollelement auf, wobei zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement erhalten wird durch Formen aus einem Stahlmaterial, das Kohlenstoff (C) von 0,55 Gew.-% bis 1,10 Gew.-% und Chrom (Cr) von 2,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-% enthält, und das dann das so gebildete Material einem Härten, Anlassen und Polieren ausgesetzt wird. Bei dem Wälzlager ist eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, auf zumindest einem der Laufbahnoberfläche des Innenrings, einer Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und einer Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen. Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung, bei einem Wälzlager gemäß dem ersten Aspekt ist die Menge von zurückgebliebenen Austenit in zumindest einem der Laufbahnoberfläche des Innenrings, der Laufbahnoberfläche des Außenrings und der Rolloberfläche des Rollelementes in einem Bereich von 15 Vol.-% bis 25 Vol.-%.

Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung weist ein Wälzlager einen inneren Ring, einen äußeren Ring und ein Rollelement auf, wobei zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement erhalten wird durch Formen aus einem Stahlmaterial, das Kohlenstoff (C) von 0,55 Gew.-% bis 1,10 Gew.-%, Chrom (Cr) von 2,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-% und zumindest einen Bestandteil aus Molybdän (Mo) von 1,1 Gew.-% bis 4,0 Gew.-%, Vanadium (V) von 0,3 Gew.-% bis 2,0 Gew.-% enthält und anschließendes Aussetzen des so geformten Materials einem Härten, Anlassen und Polieren. Bei dem Wälzlager ist zumindest ein Bestandteil eines feinkörnigen Molybdäncarbids und eines feinkörnigen Vanadiumcarbids, die einen Partikeldurchmesser von 50 nm bis 300 nm aufweisen, in einer Matrix verteilt; und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, ist zumindest auf einer von der Laufbahnoberfläche des inneren Rings, einer Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und einer Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen.

Gemäß einem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung weist ein Wälzlager einen inneren Ring, einen äußeren Ring und ein Rollelement auf, wobei zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement erhalten wird durch Formen aus einem Stahlmaterial, das Kohlenstoff (C) von 0,10 Gew.-% bis 0,55 Gew.-% und Chrom (Cr) von 5,0 Gew.-% bis 14,0 Gew.-% aufweist, und dann Aussetzen des so geformten Materials einem Carbonieren oder Carbonitrieren, Härten, Anlassen und Polieren. Bei dem Wälzlager weist zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement nach dem Carbonieren oder Carbonitrieren eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration von 0,7 Gew.-% bis 1,2 Gew.-% auf; und eine Menge des verbleibenden Austenits in einer Laufbahnoberfläche des inneren Rings, einer Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und einer Rolloberfläche des Rollelementes liegt in einem Bereich von 25 Vol.-% bis 50 Vol.-%; und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, ist auf zumindest einer der Laufbahnoberfläche des inneren Rings, einer Laufbahnoberfläche des inneren Rings und einer Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen.

Gemäß einem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung weist ein Wälzlager einen inneren Ring, einen äußeren Ring und ein Rollelement auf, wobei zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement erhalten wird durch Formen aus einem Stahlmaterial, das Carbon (C) von 0,10 Gew.-% bis 0,55 Gew.-%, Chrom (Cr) von 5,0 Gew.-% bis 14,0 Gew.-% aufweist, und zumindest eines von Molybdän (Mo) von 0,5 Gew.-% bis 4,0 Gew.-% und Vanadium (V) von 0,3 Gew.-% bis 2,0 Gew.-% aufweist und dann Aussetzen zumindest eines von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement, die auf diese Weise gebildet wurden, einem Carbonieren oder Carbonitrieren, Härten, Anlassen und Polieren. Bei dem Wälzlager ist zumindest eines eines feinkörnigen Molybdäncarbids und eines feinkörnigen Vanadiumcarbids, die einen Partikeldurchmesser im Bereich von 50 nm bis 500 nm aufweisen, in einer Matrix verteilt, zumindest eine von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement weist nach dem Carbonieren oder Carbonitrieren eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration von 0,7 Gew.-% bis 1,2 Gew.-% auf; und eine Menge des verbleibenden Austenits in einer Laufbahnoberfläche des inneren Rings, einer Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und einer Rolloberfläche des Rollelementes liegt in einem Bereich von 25 Vol.-% bis 50 Vol.-%; und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, ist auf der Laufbahnoberfläche des inneren Rings, der Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und einer Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen.

Wie oben erwähnt, weist das Wälzlager gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen auf, sogar bei Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem fremde Stoffe beigemischt sind.

Insbesondere weist das Wälzlager gemäß dem dritten Aspekt eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen auf, sogar bei Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten mit beigemischem Wasser auf.

Insbesondere, das Wälzlager gemäß dem vierten Aspekt weist eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen auf, sogar bei Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem fremde Materialien beigemischt sind.

Insbesondere, das Wälzlager gemäß dem fünften Aspekt weist eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen auf, sogar bei Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem fremde Materialien und Wasser beigemischt sind.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

In den beigefügten Zeichnungen stellen dar:

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht, die die Testmaschine darstellt, die für die Standzeittests für Anfressen als Beispiel verwendet wurden; und

Fig. 2 ist ein Graph, der das Verhältnis zwischen der Dicke der Chromoxidschicht und der Bewertungszeit (L10-Lebensdauer) darstellt, die von den Testergebnissen der Beispiele bestimmt wurde.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung wird im Detail wie folgt beschrieben.

Die vorliegende Erfindung stellt ein Wälzlager bereit, das einen Innenring, einen Außenring und ein Rollelement aufweist. Bei dem Wälzlager wird zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement erhalten durch Formen aus einem Stahlmaterial, das einen Kohlenstoffgehalt (C) von 0,55 Gew.-% bis 1,10 Gew.-% und einen Chromgehalt (Cr) von 2,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-% enthält, und dem anschließenden Aussetzen des so geformten Materials einem Härten, Anlassen und Polieren, und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, ist auf der Laufbahnoberfläche der Lagerlaufbahn und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen.

Die Ursache des frühzeitigen Fressens auf der Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche während des Betriebs mit Schmieren von hohem Reibungskoeffizienten ist ein Mechanismus, daß, wenn die Schmiermittelschicht zerstört wird, aufgrund der Zunahme von Tangentialkräften, wie oben erwähnt, wird Wasser, das in dem Schmiermittel enthalten ist, getrennt, um Hydrogen zu bilden, welches dann in die Laufbahnoberfläche oder die Rolloberfläche eindringt. Das Wälzlager gemäß der vorliegenden Erfindung wird aus einer Chromoxidschicht (Cr_2O_3) gemacht, die auf der Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche vorgesehen ist, um das Eindringen von Hydrogen zu verhindern, wodurch es möglich wird, das Auftreten von frühzeitigem Fressen auf der Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche bei Schmierung mit hohem Reibungskoeffizienten zu vermeiden.

Wenn die Dicke der Chromoxidschicht (Cr_2O_3) unter 5 nm fällt, kann der gewünschte Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen nicht vollständig ausgeübt werden. Im Gegensatz dazu, wenn die Dicke der Chromoxidschicht (Cr_2O_3) 300 nm überschreitet, wird die Textur der Chromoxidschicht grobkörnig, wodurch der Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen herabgesetzt wird. Ein bevorzugter Bereich der Dicke der Chromoxidschicht liegt im Bereich von 20 nm bis 200 nm. Innerhalb dieses Bereichs der Dicke kann eine Chromoxidschicht erhalten werden, die eine sehr enge Textur aufweist, wodurch es möglich wird, das Eindringen von Hydrogen in die Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche effizienter zu unterbinden.

Gemäß der Technik, wie sie in der JP-A-4-28845 offenbart ist, ist eine Passivschicht (FeCrO_4), die eine Dicke von mehreren Nanometern aufweist, auf der Laufbahnoberfläche ausgebildet. Jedoch, solch eine Passivschicht kann Hydrogen nicht genügend daran hindern, in die Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche einzudringen.

Das Wälzlager gemäß der vorliegenden Erfindung weist eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen auf beim Betrieb unter Schmierung mit hohem Reibungskoeffizienten, verglichen mit konventionellen Wälzlager, solange zumindest einer von dem Innenring, dem Außenring und dem Rollelement, die das Wälzlager bilden, die zuvor genannten Anforderungen erfüllt. Insbesondere wird bevorzugt, daß der Lagerungsring, der als Wellenscheibe (innerer Ring oder äußerer Ring) die vorgenannten Anforderungen erfüllt.

Wenn das Wälzlager der vorliegenden Erfindung Austenit in der Laufbahnoberfläche des Lagerungsringes und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes in einer Menge von nicht weniger als 15 Vol.-% bis nicht mehr als 25 Vol.-% aufweist, weist es eine bemerkenswert verlängerte Lebensdauer gegen Anfressen auf in vorteilhafterweise, sogar beim Betrieb unter Schmierung nicht nur mit hohen Reibungskoeffizienten, sondern auch mit beigemischten fremden Materialien.

Beim Wälzlager gemäß der vorliegenden Erfindung wird bevorzugt, daß zumindest einer dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement erhalten wird durch Formen aus einem Stahlmaterial, das einen Kohlenstoffgehalt (C) von 0,55 Gew.-% bis 1,10 Gew.-%, einen Chromgehalt (Cr) von 2,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-%, einen Molybdängehalt (Mo) von 1,1 Gew.-% bis 4,0 Gew.-% und/oder einen Vanadiumgehalt (V) von 0,3 Gew.-% bis 2,0 Gew.-% aufweist, und daß dann so geformte Material einem Härten, Anlassen und Polieren ausgesetzt wird, und bei dem feinkörnige Molybdän-carbide und/oder Vanadiumcarbide, die einen Partikeldurchmesser von nicht weniger als 50 nm bis nicht mehr als 300 nm aufweisen, in der Matrix verteilt sind, und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, auf der Laufbahnoberfläche des Lagerungsringes und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen ist.

Gemäß der zuvor genannten Wälzlager adsorbieren die feinkörnigen Carbide, die in der Matrix verteilt sind, das Hydrogen, welches dabei ist, darin einzudringen, sogar beim Betrieb unter Bedingungen, wie z. B., daß ein Schmierfilm kaum ausgebildet werden kann, um die Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die auf der Laufbahnoberfläche und/oder der Rolloberfläche vorgesehen ist, dazu zu veranlassen, zerstört zu werden. Bei dieser Anordnung kann das zuvor genannte Eindringen des Hydrogens in die Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche verhindert werden, wodurch es möglich wird, frühes Fressen auf der Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche zu verhindern.

Das Verteilen solch feinkörnigen Carbid's kann erhalten werden durch Erhalten des Materials, so wie es ist, bei einer Temperatur von 1100°C bis 1250°C, so daß es einer Behandlung als feste Lösung ausgesetzt ist, und dann wird es dem feinkörnigen Molybdän und/oder Vanadiumcarbid erlaubt, eingebracht zu werden. Das Einbringen dieser feinkörnigen Carbide verursacht eine Reduktion der Menge von Kohlenstoff, das in der Matrix des Stahlmaterials aufgelöst ist. Daher erlauben die durch das Stahlmaterial gebildeten Elemente, die solch feinkörniges Carbid in der Matrix verteilt aufweisen, den Mangel des Auftretens der Änderung in der Textur durch Diffusion des Carbons während der Ermüdung der Matrix. Als Ergebnis weist das Wälzlager eine erhöhte Abriebsfestigkeit auf, was es möglich macht, das Versagen zu verhindern, wenn es unter Bedingungen betrieben wird, wie z. B. daß ein Schmierfilm kaum ausgebildet werden kann.

Das feinkörnige Molybdän- und/oder Vanadiumcarbid ist vorzugsweise in der Matrix in einem Abschnitt verteilt, mit nicht weniger als 10 Partikeln pro 10 µm² der Laufbahnoberfläche und/oder Rolloberfläche.

Das Wälzlager gemäß der vorliegenden Erfindung beinhaltet die folgenden Lager (1) bis (3) als bevorzugte Ausführungsformen.

(1) Bei einem Wälzlager, das einen inneren Ring, einen äußeren Ring und ein Rollelement aufweist, wird zumindest einer des inneren Rings, äußeren Rings und Rollelementes durch Formen von einem Stahlmaterial hergestellt, das einen Kohlenstoffgehalt (C) von 0,65 Gew.-% bis 1,10 Gew.-% und Chromgehalt (Cr) von 2,0 Gew.-% bis 6,0 Gew.-% aufweist, und dem anschließenden Aussetzen des so gebildeten Materials einem Härten, Anlassen und Polieren und eine Chromoxidschicht (Cr₂O₃), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, ist auf der Laufbahnoberfläche des Lagerungsringes (innerer Ring und/oder äußerer Ring) und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen.

Dieses Wälzlager ist insbesondere wünschenswert als Wälzlager, das über eine verlängerte Standfestigkeit gegen Anfressen mit Schmiermittel mit einem Reibungskoeffizienten betrieben werden.

(2) In einem Wälzlager, welches einen inneren Ring, einen äußeren Ring und ein Rollelement aufweist wird zumindest eines von dem inneren Ring, äußeren Ring und Rollelement durch Formen aus einem Stahlmaterial hergestellt, das einen Kohlenstoffgehalt (C) von 0,65 Gew.-% bis 0,95 Gew.-%, einen Silicongehalt (Si) von 0,05 Gew.-% bis 0,60 Gew.-%, einen Magnesiumgehalt (Mn) von 0,2 Gew.-% bis 1,5 Gew.-% und einen Chromanteil (Cr) von 3,0 Gew.-% bis 6,0 Gew.-% aufweist, und dem anschließenden Aussetzen des derartig ausgebildeten Materials einem Härten, Anlassen und Polieren, wobei die Menge von Austenit, der in der Laufbahnoberfläche des Lagerungsringes und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes verbleibt, nicht weniger als 15 Vol.-% bis nicht mehr als 25 Vol.-% beträgt, und eine Chromoxidschicht (Cr₂O₃), die eine Dicke von nicht weniger als 20 nm bis nicht mehr als 200 nm aufweist, ist auf der Laufbahnoberfläche des Lagerungsringes und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen. Gemäß dem vorgenannten Wälzlager macht die Anwesenheit einer Chromoxidschicht, die eine dichte Textur aufweist, es möglich, insbesondere die Anfreßzeit des Wälzlagers beim Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten zu verlängern. Das Vorherbestimmen der Menge von zurückgebliebenem Austenit in einem Bereich von nicht weniger als 15 Vol.-% bis nicht mehr als 25 Vol.-% macht es möglich, die Standfestigkeit gegen Anfressen des Wälzlagers beim Betrieb mit Schmiermitteln, denen fremde Materialien beigemischt sind, drastisch zu verlängern. Mit anderen Worten, ist dieses Wälzlager insbesondere wünschenswert als ein Wälzlager, welches betrieben wird unter Schmierung mit einem hohen Reibungskoeffizienten, dem fremde Materialien beigemischt sind.

(3) In einem Wälzlager, das einen inneren Ring, einen äußeren Ring und ein Rollelement aufweist, wird zumindest einer von dem inneren Ring, äußeren Ring und Rollelement hergestellt durch Formen aus einem Stahlmaterial, das einen Kohlenstoffgehalt (C) von 0,55 Gew.-% bis 0,90 Gew.-%, einen Chromgehalt (Cr) von 4,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-% (vorzugsweise 5,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-%), einen Molybdängehalt (Mo) von 1,1 Gew.-% bis 4,0 Gew.-% (vorzugsweise 1,1 Gew.-% bis 3,0 Gew.-%) und/oder einen Vanadiumgehalt (V) von 0,3 Gew.-% bis 2,0 Gew.-% aufweist, und dem anschließenden Aussetzen des derartig hergestellten Materials einem Härten, Anlassen und Polieren, wobei ein feinkörniges Molybdän- und/oder Vanadiumcarbid, das einen Partikeldurchmesser von 50 nm bis 300 nm aufweist, in der Matrix verteilt wird, und eine Chromoxidschicht (Cr₂O₃), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, ist auf der Laufbahnoberfläche des Lagerungsringes und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen.

Dieses Wälzlager ist insbesondere wünschenswert als ein Wälzlager, welches eine verlängerte Standfestigkeit gegen Anfressen unter Schmierung mit hohem Reibungskoeffizienten aufweist, dem Wasser beigemischt wurde.

Die Wirkungsweise und der Gehalt der verschiedenen Legierungskomponenten, die dem Stahlmaterial zugefügt sind, das hier verwendet wird, wird nachfolgend beschrieben.

[C: 0,55 bis 1,10 Gew.-%]

Kohlenstoff (C) ist ein Element, das dem Stahlmaterial Härte verleiht. Wenn der Gehalt von C unterhalb von 0,55 Gew.-% fällt, ist es schwierig, eine Härte von HRC 58 oder höher zu erhalten, die für Wälzlager gefordert wird. Auf der anderen Seite, wenn der Gehalt von C 1,10 Gew.-% überschreitet, können große Carbide leichter erzeugt werden, wodurch gelegentlich Materialermüdung auftritt oder die Schlagbeanspruchung herabgesetzt wird. Entsprechend liegt der Gehalt von Kohlenstoff in dem Bereich von 0,55 Gew.-% bis 1,10 Gew.-%.

Das vorgenannte Wälzlager (1) der vorliegenden Erfindung weist einen Kohlenstoffgehalt von nicht weniger als 0,65 Gew.-% bis nicht mehr als 1,10 Gew.-% auf. Das vorgenannte Wälzlager (2) der vorliegenden Erfindung weist einen Kohlenstoffgehalt im Bereich von 0,65 Gew.-% bis 0,95 Gew.-% auf. Wenn der Gehalt von Kohlenstoff nicht weniger als 0,65 Gew.-% beträgt, kann eine Härte von HRC 58 oder höher erreicht werden. Darüber hinaus, wenn der Kohlenstoffgehalt nicht mehr als 0,95 Gew.-% beträgt, kann das Erzeugen großer Carbide besser unterdrückt werden.

Das vorgenannte Wälzlager (3) der vorliegenden Erfindung weist einen Kohlenstoffgehalt im Bereich von 0,55 Gew.-%

% bis 0,90 Gew.-% auf. Das vorgenannte Wälzlager (3) der vorliegenden Erfindung beinhaltet ein Stahlmaterial, dem Cr, Mo und/oder V zugefügt wurde. Daher, wenn der Kohlenstoffgehalt zunimmt, verschmälert sich der Austenitbereich, was den Kohlenstoff dazu veranlaßt, im mittigen Teil konzentriert zu werden und bei Wärmebehandlung zu segregieren. Der segregierte Bereich kann dann überhitzt werden, wodurch Risse darin entstehen. Entsprechend ist bei dem Wälzlager (3) der vorliegenden Erfindung der obere Grenzwert für den Kohlenstoffgehalt vorzugsweise 0,90 Gew.-%.

[Cr: 2,0 bis 9,0 Gew.-%]

Chrom (Cr) ist ein Element, das die Härtebarkeit des Stahlmaterials verbessert, die Sphäroidisation des Carbid beschleunigt und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3) erzeugt. Um die Dicke der Chromoxidschicht in einem Bereich von nicht weniger als 5 nm vorherzubestimmen, ist es notwendig, daß der Anteil von Chrom nicht weniger als 2,0 Gew.-% beträgt. Wenn der Chromgehalt 9,0 Gew.-% überschreitet, erfährt das dadurch erzeugte Stahlmaterial eine drastische Verschlechterung der Schneidbarkeit und somit eine verschlechterte Verarbeitbarkeit. Entsprechend liegt der Chrombereich in einem Bereich von 2,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-%.

Das vorgenannte Wälzlager (1) der vorliegenden Erfindung hat einen Chromgehalt im Bereich von 2,0 Gew.-% bis 3,0 Gew.-%. Das vorgenannte Wälzlager (2) der vorliegenden Erfindung weist einen Chromgehalt im Bereich von 3,0 Gew.-% bis 6,0 Gew.-% auf. Wenn der Chromgehalt nicht mehr als 6,0 Gew.-% beträgt, weist das erzeugte Stahlmaterial exzellente Schneideigenschaften auf. Darüber hinaus, wenn der Chromgehalt nicht weniger als 3,0 Gew.-% beträgt, wird die resultierende Chromoxidschicht dichter und fester, wodurch ein verbesserter Effekt des Abschirmens gegenüber Hydrogen entsteht.

Das vorgenannte Wälzlager (3) der vorliegenden Erfindung weist einen Chromgehalt im Bereich von 4,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-%, vorzugsweise 5,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-% auf. Wenn der Chromgehalt nicht weniger als 4,0 Gew.-% beträgt (vorzugsweise nicht weniger als 5,0 Gew.-%), wird die resultierende Chromoxidschicht dichter und fester und kann daher kaum zerstört werden, wodurch ein verbesserter Effekt des Abschirmens gegenüber Hydrogen entsteht.

[Mo: 1, 1 bis 4,0 Gew.-%]

Molybdän (Mo) ist ein Element, das das Stahlmaterial widerstandsfähig gegen Anlaßerweichen macht und ist mit dem Kohlenstoff verbunden, um Molybdänkarbid zu erzeugen. Um es einem feinkörnigen Molybdänkarbid zu erlauben, das einen Partikeldurchmesser in dem Bereich von 50 nm bis 300 nm aufweist, stabil deponiert und in der Matrix verteilt zu werden, ist es notwendig, daß der Gehalt von Molybdän nicht weniger als 1,1 Gew.-% beträgt. Die Anwesenheit solch eines feinkörnigen Molybdänkarbids erzeugt eine Oberflächenhärte, die die Abriebsfestigkeit erhöht und den vorgenannten Effekt des Abschirmens gegenüber Hydrogen ausführt.

Auf der anderen Seite, wenn der Molybdängehalt 4,0 Gew.-% überschreitet, wird der vorgenannte Effekt gesättigt. Darüber hinaus, die Bearbeitbarkeit des resultierenden Stahlmaterials kann verschlechtert werden. Entsprechend ist der Molybdängehalt in einem Bereich von 1,1 Gew.-% bis 4,0 Gew.-%, vorzugsweise 1,1 Gew.-% bis 3,0 Gew.-%.

[V: 0,3 bis 2,0 Gew.-%]

Vanadium (V) ist ein Element, das auf der Kristallgrenze deponiert wird, um die Zunahme der Größe der kristallinen Partikel zu unterbinden, und ist mit dem Kohlenstoff verbunden, um ein feinkörniges Vanadiumkarbid zu bilden. Um es einem feinkörnigen Vanadiumkarbid, das einen Partikeldurchmesser im Bereich von 50 nm bis 300 nm aufweist, zu ermöglichen, stabil zu deponiert und in der Matrix verteilt zu werden, ist es notwendig, daß der Gehalt von Vanadium nicht weniger als 0,3 Gew.-% beträgt. Die Anwesenheit eines solch feinkörnigen Vanadiumkarbids stellt eine Oberflächenhärte bereit, die die Abriebsfestigkeit erhöht, und den vorgenannten Effekt des Abschirmens gegenüber Hydrogen ausführt.

Auf der anderen Seite, wenn der Vanadiumgehalt 2,0 Gew.-% überschreitet, wird das Vanadiumkarbid in der Kristallgrenze deponiert, wodurch die Bearbeitbarkeit oder verschiedene mechanische Eigenschaften des Stahlmaterials verschlechtert werden. Entsprechend liegt der Vanadiumgehalt in einem Bereich von 0,3 Gew.-% bis 2,0 Gew.-%. In dem Fall, wo nur Vanadium frei von Molybdän eingebracht wird, liegt der Vanadiumgehalt vorzugsweise in dem Bereich von 0,5 Gew.-% bis 2,0 Gew.-%.

[Si: 0,05 bis 0,60 Gew.-%]

Silicon (Si) ist ein Element, das die Verzögerung der Oberflächenveränderung beschleunigt, und die Härtebarkeit des Stahlmaterials verbessert. Wenn der Silicongehalt unter 0,05 Gew.-% fällt, kann der vorgenannte Effekt genügend stark ausgeübt werden. Auf der anderen Seite, wenn der Silicongehalt 0,50 Gew.-% überschreitet, weist das resultierende Stahlmaterial drastisch verschlechterte Bearbeitungseigenschaften auf. Entsprechend liegt der Silicongehalt vorzugsweise in dem Bereich von 0,05 Gew.-% bis 0,60 Gew.-%.

[Mn: 0,2 bis 1,5 Gew.-%]

Magnesium (Mn) ist ein Element, das die Härtebarkeit des Stahlmaterials verbessert. Wenn der Gehalt des Magnesiums unter 0,2 Gew.-% fällt, weist das resultierende Stahlmaterial ungenügend Härtekeitseigenschaften auf. Auf der anderen Seite, wenn der Gehalt von Magnesium 1,5 Gew.-% überschreitet, weist das resultierende Stahlmaterial verschlechterte Bearbeitungseigenschaften auf. Entsprechend liegt der Magnesiumgehalt vorzugsweise in dem Bereich von 0,2 Gew.-% bis 1,5 Gew.-%.

Phosphor (P) ist ein Element, das die Rollebensdauer und Zähigkeit des Stahlmaterials herabsetzt. Daher beträgt der Gehalt an Phosphor vorzugsweise nicht weniger als 0,02 Gew.-%. Schwefel (S) ist ein Element, das die Schneidbarkeit des Stahlmaterials verbessert. Da Schwefel mit dem Magnesium verbunden ist, um einen Sulfurdeinschluß zu erzeugen, der die Rollebensdauer des Stahlmaterials herabsetzt, beträgt sein Gehalt vorzugsweise nicht mehr als 0,02 Gew.-%. Sauerstoff (O) ist ein Element, das einen Oxideinschluß in dem Stahlmaterial erzeugt, um seine Rollebensdauer zu reduzieren. Entsprechend ist der Gehalt von Sauerstoff vorzugsweise nicht mehr als 0,0010 Gew.-%.

Die vorliegende Erfindung stellt auch ein Wälzlager bereit, das einen inneren Ring, einen äußeren Ring und ein Rollelement aufweist, wobei zumindest einer von dem inneren Ring, äußeren Ring und Rollelement hergestellt wird durch Formen aus einem Stahlmaterial, das einen Kohlenstoffgehalt (C) von 0,10 Gew.-% bis 0,55 Gew.-% und einen Chromgehalt (Cr) von 5,0 Gew.-% bis 14,0 Gew.-% aufweist, und dem anschließenden Aussetzen des so geformten Materials einem Carbonieren oder Carbonitrieren, Härten, Anlassen und Polieren, wobei das Material, das carboniert oder carbonitriert wurde, eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration von 0,7 Gew.-% bis 1,2 Gew.-% aufweist, die Menge von zurückgebliebenen Austenit in der Laufbahnoberfläche des Lagerrings und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes beträgt nicht weniger als 25 Vol.-% bis nicht mehr als 50 Vol.-%, und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, ist auf der Laufbahnoberfläche des Lagerrings und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen.

Wie zuvor erwähnt, wenn das Wälzlager unter Schmierstoff betrieben wird, der mit fremden Materialien vermischt ist, verursachen diese fremden Materialien das Bilden von Vertiefungen auf der Laufbahnoberfläche des Lagerrings oder der Rolloberfläche des Rollelementes. Wenn Belastung auf die Kanten dieser Vertiefungen konzentriert wird, treten Mikrorisse auf, die ein frühes Ausbrechen erzeugen. Gemäß der Anordnung des Wälzlagers der vorliegenden Erfindung, erlaubt das Vorherbestimmen der Menge von verbleibendem Austenit in der Laufbahnoberfläche des Lagerrings und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes in einem Bereich von nicht weniger als 25 Vol.-% bis nicht mehr als 50 Vol.-%, das Ausüben der folgenden Effekte, wodurch die Konzentration der Belastung auf die Kanten dieser Vertiefungen verringert wird. Als ein Ergebnis kann ein frühes Fressen an der Oberfläche der Laufbahnoberfläche des Lagerrings und der Rolloberfläche des Rollelementes beim Betrieb mit Schmierstoff, dem fremde Materialien beigemischt sind, verhindert werden.

Mit anderen Worten, hat Austenit ursprünglich eine weiche Textur (d. h. ungefähr Hv 300). Jedoch unterliegt Austenit, das in der Oberflächenschicht des Stahlmaterials verbleibt, einer Martensittransformation und einem Härten, wenn es mit Energie beaufschlagt wird, wie z. B. während Belastung. Die Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche, die den zurückgebliebenen Austenit in einer Menge von 25 Vol.-% bis 50 Vol.-% aufweist, unterliegt der vorgenannten Transformation aufgrund der Deformationsenergie, die auf diesen Bereich ausgeübt wird, wenn er in Rollkontakt mit der gegenüberliegenden Oberfläche (Rolloberfläche oder Laufbahnoberfläche) gebracht wird. Während diesem wird die Konzentration der Belastung auf die Kante der zuvor genannten Vertiefungen entspannt.

Dieses Wälzlager weist auch eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3) auf, die eine Dicke im Bereich von 5 nm bis 300 nm aufweist, die auf der Laufbahnoberfläche des Lagerrings und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen ist. Bei dieser Anordnung kann das Eindringen von Wasserstoff, das das frühe Verschleßen der Oberfläche auf der Laufbahnoberfläche oder der Rolloberfläche beim Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten verursacht, verhindert werden.

Als ein Ergebnis kann das Auftreten des frühen Anfressens auf der Laufbahnoberfläche oder der Rolloberfläche beim Betrieb mit Schmiermittel mit hohem Reibungskoeffizienten verhindert werden.

Die Gründe, warum die Kohlenstoff- und Chromgehalt und die Oberflächenkohlenstoffkonzentration des zu verwendenden Stahlmaterials beim Wälzlagerkohlenstoff definiert sind, werden nachfolgend beschrieben.

[Oberflächenkohlenstoffkonzentration: 0,7 bis 1,2 Gew.-%]

Um eine Oberflächenhärte von HRC 58 oder mehr, die für Wälzlager erforderlich ist, zu erreichen, ist es notwendig, daß die Oberflächenkohlenstoffkonzentration nicht weniger als 0,7 Gew.-% beträgt. Wenn die Oberflächenkohlenstoffkonzentration 1,2 Gew.-% überschreitet, können große Carbide leichter erzeugt werden. Der Abschnitt, wo große Carbide erzeugt wurden, kann als Ausgangspunkt des Brechens wirken.

In dem Fall, wo Carbonitrierung durchgeführt wird, liegt die Oberflächennitrogenkonzentration vorzugsweise im Bereich von 0,05 Gew.-% bis 0,50 Gew.-%. Wenn die Oberflächennitrogenkonzentration nicht weniger als 0,05 Gew.-% beträgt, weist das resultierende Stahlmaterial eine verbesserte Anlaßwiderstandsfähigkeit auf, was es den feinkörnigen Carbiden erleichtert, verteilt und deponiert zu werden. Als ein Ergebnis wird die Festigkeit gegen Sprödbruch erhöht. Darüber hinaus, wenn die Nitrogenkonzentration 0,50 Gew.-% überschreitet, weist das resultierende Stahlmaterial einen erhöhten Abriebwiderstand auf, kann jedoch kaum poliert werden und weist daher eine verschlechterte Sprödbruchfestigkeit auf.

Während dem Carbonieren oder Carbonitrieren kann diffuses Wasserstoff in das Innere des Materials eindringen. Jedoch, kann das Material, das carboniert oder carbonitriert wurde, erwärmt werden in einem Vakuumofen, um den Gehalt des diffundierten Wasserstoffs in dem Material auf nicht mehr als 0,1 ppm zu reduzieren, und dadurch seine Versprödung verbessern.

[C: 0,10 bis 0,55 Gew.-%]

Kohlenstoff (C) ist ein Element, das das Stahlmaterial mit Härte versieht. Dieses Wälzlager weist eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration von 0,7 Gew.-% bis 1,2 Gew.-% auf, die durch Carbonieren oder Carbonitrieren erzeugt wird. Wenn der Anteil von Carbon im zu verwendenden Stahlmaterial unter 0,10 Gew.-% fällt, erfordert das Carbonieren oder

Carbonitrieren zum Vorherbestimmen der Oberflächenkohlenstoffkonzentration auf den vorgenannten Bereich viel Zeit. Auf der anderen Seite, wenn der Gehalt von Kohlenstoff im Stahlmaterial 0,55 Gew.-% überschreitet, kann das resultierende Stahlmaterial verschlechterte Zähigkeit seines Kerns aufweisen und daher eine verschlechterte Schlagfestigkeit.

[Cr: 5,0 bis 14,0 Gew.-%]

Chrom (Cr) ist ein Element, das die Härtebarkeit des Stahlmaterials verbessert, die Sphäroidisation des Kohlenstoffs beschleunigt und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3) bildet. Dieses Wälzlager muß einen Chromgehalt von nicht weniger als 5,0 Gew.-% aufweisen, um eine Chromoxidschicht von einer Dicke von nicht weniger als 5 nm aufzuweisen. Wenn der Chromgehalt 14,0 überschreitet, weist das resultierende Stahlmaterial drastisch verschlechterte Schneideigenschaften auf und kann der Erzeugung von großen Chromcarbiden ausgesetzt sein, die einen Partikeldurchmesser von 10 µm aufweisen. Wenn große Chromcarbide erzeugt werden, ist die resultierende Chromoxidschicht nicht einheitlich, wodurch es leicht wird, die Chromoxidschicht zu zerstören.

Entsprechend weist dieses Wälzlager verlängerte Standzeit gegen Anfressen auf beim Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem fremde Materialien beigemischt sind.

Darüber hinaus, weist dieses Wälzlager vorzugsweise Silicon auf, das in das zu verwendende Stahlmaterial in dem folgenden Bereich eingebracht wird, und Magnesium wird in das verwendete Stahlmaterial in dem vorangegangenen Bereich eingebracht. Darüber hinaus ist der Anteil von Sauerstoff vorzugsweise nicht mehr als 0,0010 Gew.-%, wie zuvor erwähnt. Der Gehalt von Schwefel und Phosphor beträgt vorzugsweise jeweils nicht mehr als 0,02 Gew.-%, wie zuvor erwähnt.

[Si: 0,10 bis 1,40 Gew.-%]

Wie zuvor erwähnt, ist Silicon (Si) ein Element, das die Verzögerung der Texturänderung beschleunigt und die Härtebarkeit des Stahlmaterials verbessert. Das Wälzlager umfaßt Kohlenstoff (C), der in das verwendete Stahlmaterial eingebracht wird, in einer Menge von 0,10 bis 0,55 Gew.-%. Daher, wenn der Gehalt an Silicon unter 0,10 Gew.-% fällt, kann der zuvor genannte Effekt nicht genügend ausgeführt werden. Da der oben definierte Kohlenstoffgehalt niedrig genug ist, weist das resultierende Stahlmaterial eine verbesserte Kaltbearbeitbarkeit auf. Daher, sogar wenn der Silicongehalt 0,60 Gew.-% überschreitet, weist das resultierende Stahlmaterial gute Bearbeitungseigenschaften auf. Jedoch, wenn der Silicongehalt 1,40 Gew.-% überschreitet, weist das resultierende Stahlmaterial eine verschlechterte Bearbeitbarkeit auf. Entsprechend ist der Silicongehalt vorzugsweise in einem Bereich von 0,10 Gew.-% bis 1,40 Gew.-%.

Die vorliegende Erfindung stellt darüber hinaus ein Wälzlager bereit, das einen inneren Ring, einen äußeren Ring und ein Rollelement aufweist, wobei zumindest einer von dem inneren Ring, äußeren Ring und Rollelement hergestellt wird durch Formen aus einem Stahlmaterial, das einen Kohlenstoffgehalt (C) von 0,10 Gew.-% bis 0,55 Gew.-%, einen Chromgehalt (Cr) von 5,0 Gew.-% bis 14,0 Gew.-%, einen Molybdängehalt (Mo) von 0,5 Gew.-% bis 4,0 Gew.-% und/oder einen Vanadiumgehalt (V) von 0,3 Gew.-% bis 2,0 Gew.-% aufweist, und Aussetzen des dermaßen ausgebildeten Materials einem Carbonieren oder Carbonitrieren, Härten, Anlassen und Polieren, wobei ein feinkörniges Molybdän-carbid und/oder Vanadiumcarbid, das einen Partikeldurchmesser von 50 nm bis 300 nm aufweist, in der Matrix verteilt wird, wobei das Material, das carboniert oder carbonitriert wurde, eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration von 0,7 Gew.-% bis 1,2 Gew.-% aufweist, die Menge von zurückbleibendem Austenit in der Laufbahnoberfläche des Lagerings und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes von 25 Vol.-% bis 50 Vol.-% beträgt, und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, auf der Laufbahnoberfläche des Lagerings und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen ist.

Gemäß dem vorgenannten Wälzlager adsorbieren die feinkörnigen Molybdän- und/oder Vanadiumcarbide, die in der Matrix verteilt sind, Hydrogen, welches dabei ist, einzudringen, sogar wenn es unter Bedingungen verwendet wird, so daß ein Schmierfilm kaum ausgebildet werden kann, um die Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die auf der Laufbahnoberfläche und/oder Rolloberfläche vorgesehen ist, zu zerstören. Bei dieser Anordnung kann das vorgenannte Eindringen des Hydrogens in die Laufbahnoberfläche oder Rolloberfläche verhindert werden, sogar beim Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, das mit Wasser gemischt ist, das es möglich macht, frühzeitiges Anfressen auf der Laufbahnoberfläche und der Rolloberfläche zu verhindern.

Das Verteilen eines solch feinkörnigen Carbid kann erreicht werden durch das zuvor genannte Verfahren. Wie zuvor erwähnt, ermöglichen die Elemente, die das Lager bilden, die durch das Stahlmaterial gebildet werden, die solch eine Verteilung in der Matrix aufweisen, das Verzögern des Auftretens des Veränderns in der Textur durch Diffusion des Kohlenstoffs während des Ermüdens der Matrix. Als ein Ergebnis weist das Wälzlager einen erhöhten Abriebwiderstand auf, macht es möglich, ein Versagen zu verhindern, wenn es unter Bedingungen betrieben wird, wie z. B. daß ein Schmierfilm kaum ausgebildet werden kann. Das feinkörnige Molybdän-carbid und/oder Vanadiumcarbid wird vorzugsweise in der Matrix in einer Menge von nicht weniger als 10 Partikeln pro $10 \mu\text{m}^2$ auf der Laufbahnoberfläche und/oder Rolloberfläche wie zuvor erwähnt verteilt.

Bei diesem Wälzlager liegt der Partikeldurchmesser des feinkörnigen Molybdän-carbids und/oder Vanadiumcarbids innerhalb eines Bereichs von 50 nm bis 500 nm. Die Molybdän-carbidkörner und/oder Vanadiumcarbidkörner wachsen in der Matrix während des Carbonierens oder Carbonitrierens. Bei diesem Wälzlager kann der vorgenannte Effekt des Adsorbierens von Hydrogen und des Verbesserns der Abriebfestigkeit insoweit durchgeführt werden, daß der Partikeldurchmesser der vorangegangenen feinkörnigen Carbide nicht mehr als 500 nm beträgt, sogar wenn er 300 nm überschreitet.

Gemäß der Anordnung dieses Wälzlagers erlaubt das Vorherbestimmen der Menge von verbleibendem Austenit in der Laufbahnoberfläche des Lagerings und/oder der Rolloberfläche des Rollelementes im Bereich von 25 Vol.-% bis 50 Vol.-% das Ausüben der vorangegangenen Effekte, das Verringern der Belastungskonzentration auf die Kanten der zuvor genannten Vertiefungen. Als ein Ergebnis kann das frühzeitige Fressen auf der Laufbahnoberfläche des Lagerings und der Rolloberfläche des Rollelementes beim Betrieb mit Schmiermittel, dem fremde Stoffe beigefügt sind, verhindert

werden. Darüber hinaus kann die Reduktion der Härte, die mit der Zunahme des Gehalts von zurückbehaltenen Austenit einhergeht, ausgeglichen werden durch die feinkörnigen Molybdän-carbide und/oder Vanadium-carbide, die in der Matrix verteilt sind.

Der Grund, weswegen der Molybdängehalt (Mo) in diesem Wälzlagerkohlenstoff definiert ist, wird nachfolgend beschrieben. Der Grund, weil der Vanadiumgehalt (V) in diesem Wälzlagerkohlenstoff definiert ist, wurde zuvor genannt.

[Mo: 0,5 bis 4,0 Gew.-%]

Wie zuvor genannt, ist Molybdän (Mo) ein Element, das das Stahlmaterial widerstandsfähig gegen Anlaßerweichen macht und dem Kohlenstoff anhaftet, um Molybdän-carbide zu bilden. Im Fall, wo der Gehalt des Kohlenstoffs (C) in dem verwendeten Stahlmaterial in einem Bereich von 0,25 bis 0,55 Gew.-% liegt, beträgt der Molybdängehalt vorzugsweise nicht weniger als 1,1 Gew.-%, um es den feinkörnigen Molybdän-carbiden zu erlauben, einen Partikeldurchmesser von 50 nm bis 500 nm aufzuweisen, der stabil angeordnet und gleichmäßig verteilt in der Matrix ist.

Jedoch, wenn der Gehalt von Kohlenstoff (C) in dem verwendeten Stahlmaterial im Bereich von 0,10 bis 0,20 Gew.-% liegt, neigt die Kohlenstoffkonzentration in der Matrix dazu, niedriger zu sein, aufgrund des Ablagerns von feinkörnigen Molybdän-carbiden.

Um dieses Phänomen zu unterbinden, ist der Molybdängehalt vorzugsweise weniger als 1,1 Gew.-% (z. B. ungefähr 0,5 Gew.-%).

Im Gegensatz dazu, wenn der Molybdängehalt 4,0 Gew.-% überschreitet, ist der vorgenannte Effekt gesättigt. Darüber hinaus, kann das resultierende Stahlmaterial verschlechterte Verarbeitungseigenschaften aufweisen. Mit Hinblick darauf, verwendet dieses Wälzlager (C: 0,10 bis 0,55 Gew.-%) Molybdän, das in das verwendete Stahlmaterial in einer Menge von 0,5 Gew.-% bis 4,0 Gew.-% eingebracht ist.

Wie zuvor genannt weist dieses Wälzlager eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen bei Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem fremde Materialien und Wasser beigemischt ist, auf.

Beispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend beschrieben.

Beispiele 1 bis 9 und Vergleichsbeispiel 1 bis 6

Ein Stahlmaterial mit Carbon (C), Silicon (Si), Magnesium (Mn) und Chrom (Cr) in einer Zusammensetzung (Gew.-%), die in Tabelle 1 nachfolgend dargestellt ist, Phosphor (P) und Schwefel (S), jeweils in einem Verhältnis von nicht mehr als 0,02 Gew.-%, Sauerstoff (O) in einem Verhältnis von nicht mehr als 0,0010 Gew.-%, und der entsprechende Anteil Eisen (Fe) wurde verwendet, um einen inneren Ring und einen äußeren Ring für ein Tiefbettlaufbahnkugellager (JIS Modell Nummer: 6206; äußerer Durchmesser: 62 mm; innerer Durchmesser: 30 mm; Breite: 16 mm) zu bilden.

Nachfolgend wurden der innere Ring und der äußere Ring, die auf diese Weise hergestellt wurden, einem Härten und Anlassen ausgesetzt, so daß die Oberflächenhärte (HRC) und die Menge des verbleibenden Austenits (γ_R) in einer Weise eingestellt wurden, die in der Tabelle 1 unten angegeben sind. Unter Verwendung einer Aluminabasierenden Schleifmühle oder CBN-Schleifmühle, wurden der innere Ring und der äußere Ring poliert an der Laufbahnoberfläche, die darauf ausgebildet wurde, mit hoher Drehzahl, so daß die Oberflächenhärte der Laufbahnoberfläche im Bereich von 0,01 bis 0,04 μmRa lag. Der innere Ring und der äußere Ring, die auf diese Weise poliert wurden, wurden dann hinsichtlich ihrer Eigenschaften der Chromoxidschicht (Cr_2O_3) gemessen, die auf der Laufbahnoberfläche ausgebildet wurde. Die Messungen sind in Tabelle 1 nachfolgend angegeben.

Tabelle 1

		C	Si	Mn	Cr	Cr ₂ O ₃ Schicht (nm)	HRC	% γ R
Beispiel Nr.	1	0,65	0,60	0,31	6,0	300	63	10
	2	0,84	0,23	0,61	5,1	225	60	13
	3	0,79	0,38	1,5	3,5	175	58	0
	4	1,10	0,05	0,45	2,0	5	63	9
	5	0,92	0,25	0,2	4,3	87	59	4
	6	1,05	0,47	0,45	2,6	13	63	10
	7	0,69	0,33	0,32	3,5	20	62	25
	8	0,81	0,41	0,49	4,9	79	61	15
	9	0,95	0,33	0,29	5,7	200	60	20
Vergleichs- beispiel Nr.	1	0,93	0,34	0,41	1,5	1	62	8
	2	1,24	0,25	0,43	2,9	10	65	11
	3	0,59	0,31	0,22	3,8	15	56	5
	4	0,88	0,02	0,89	4,0	4	60	9
	5	0,76	0,58	0,05	2,0	2	62	12
	6	0,95	0,31	0,42	3,4	500	60	10

Als Rollelement wurde eines verwendet, das durch den Vorgang des Ausbildens einer Kugel erhalten wurde, das einen Durchmesser von 3/8 Inch und aus der zweiten Art von hochkohlenstoffhaltigem Chromlagerstahl (SUJ2) hergestellt wurde, und dann die Kugel dem Härten und Anlassen ausgesetzt wurde, so daß die Oberflächenhärte (HRC), die Menge des zurückbehaltenen Austenits (γ R) und die Oberflächenrauigkeit der Laufbahnoberfläche jeweils auf 62, 10 Vol.-% und von 0,003 bis 0,010 μ mRa eingestellt wurde.

Wälzlager, die aus diesen Innenringen und Außenringen zusammengesetzt wurden, die auf diese Weise erhalten wurden (Beispiele 1 bis 9 und Vergleichsbeispiele 1 bis 6) und die vorangegangenen Rollelemente wurden jeweils auf die in Fig. 1 dargestellte Testmaschine montiert. Unter diesen Bedingungen wurden die Wälzlager dann auf ihre Standzeit gegen Anfressen untersucht beim Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten.

Diese Testmaschine weist ein Gehäuse 2 auf, das ein darin eingebautes Wälzlager 1 aufweist. Das gesamte Gehäuse 2 und eine Achse 3 ausgenommen für den Endabschnitt 31 sind durch ein Spülelement 4 abgedeckt. Am oberen Ende des Innenraums des Spülelementes 4 ist eine Ölzufuhrdüse 5 vorgesehen, durch welche das Schmiermittel in das Innere des Wälzlagers 1 geleitet wird. Die Ölzufuhrdüse 5 ist in solch einer Weise angeordnet, daß sie das Schmiermittel von einem Öltank 6 über ein Rohr 61 erhält. Das Schmiermittel, das auf den Boden des Spülelementes 4 tropfte, wird dem Öltank 6 durch ein Altölröhr 62 zurückgeführt. Das Rohr 61 kann mit einem Filter 63 versehen sein, um Fremdstoffe aus dem Schmiermittel in Strömungsrichtung vorliegend herauszufiltern. Oberhalb des Spülelementes 4 ist ein Belastungshebel 7 angeordnet, durch welche eine Last auf das Wälzlager durch das Gehäuse 2 aufgebracht wird.

Als Schmiermittel wurde ein kommerziell erhältliches Schmieröl verwendet, das einen maximalen Reibungskoeffizienten (μ) von 0,09 bei 40°C und 0,07 bei 100°C und eine dynamische Viskosität von 30,8 cSt bei 40°C und 5,31 cSt bei 100°C aufwies, wie dies bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 4,1 m/s und Schlupf von 5%, unter Verwendung einer Zweizylinder-Testmaschine ermittelt wurde. Bezugnehmend auf die Testbedingungen betrug die Testlast Fr 580 kgf (P/C = 0,3 gemäß JIS), die Testtemperatur betrug 100°C, die Drehzahl war 3900 Umdrehung pro Minute, und der innere Ring wurde gedreht.

Als Detail wurden Stahlspäne, die eine Härte von Hv von 530 und eine Größe von 44 bis 74 μ m aufwiesen, 1000 cc des Schmieröls im Öltank 6 zugefügt. Das Wälzlager 1 im Spülelement 4 wurde dann für 3 Minuten betrieben, während das Schmiermittel zugeführt wurde. Mit anderen Worten, das Wälzlager 1 drehte sich unter dem Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem fremde Stoffe beigemischt wurden, so daß Anfangsvertiefungen erzeugt wurden auf der Laufbahnoberfläche und/oder der Rolloberfläche.

Nachfolgend wurde das Wälzlager 1 von der Testmaschine entfernt und dann gereinigt. Der äußere Ring und das Rollelement wurden dann ersetzt durch neue, die frei von Vertiefungen sind. Der innere Ring, der auf diese Weise anfänglich mit Vertiefungen versehen wurde, wurde auch weiterhin verwendet. Das Wälzlager 1 wurde dann auf der Testmaschine montiert. Der Filter 63 wurde auf das Rohr 61 montiert. Unter diesen Bedingungen wurde es dem Wälzlager 1 in dem Spülelement 4 erlaubt, sich zu drehen, während es mit Schmiermittel frei von Fremdstoffen versorgt wurde. Während des Rotationstests, wurde die Vibration gemessen, die sich in dem Lager entwickelte. Wenn die Vibration während des Dre-

hens das Fünffache des Anfangswerts erzielte, wurde der Test unterbrochen, um zu sehen, ob ein Ausbrechen auftrat. 10 Sätze von Lagerungen wurden getestet für jedes der Beispiele und der Vergleichsbeispiele.

Wenn der Test unterbrochen wurde, wurde die bis dahin benötigte Rotationszeit verwendet für eine Bewertung (Standzeit gegen Anfressen). Für diejenigen, die eine berechnete Lebensdauer von 160 Stunden aufwiesen und somit für 200 Stunden getestet wurden, währenddessen die Vibrationen nicht das Fünffache des Anfangswerts erzielten, wurde eine Prüfung durchgeführt, um zu sehen, ob ein Ausbrechen nach 200 Stunden von Rotation auftrat. Somit wurden 200 Stunden für das Bewerten verwendet. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 2 angegeben. Das Verhältnis zwischen der Dicke der Chromoxidschicht und der Bewertungszeit (L10-Lebensdauer), die von den Ergebnissen erhalten wurde, ist in Fig. 2 dargestellt.

Tabelle 2

		Bewertungszeit L10 (h)	Auftreten von Anfressen	Form des Anfressens
Beispiel Nr.	1	165	3/10 innerer Ring weist Anfressen auf	beginnend vom Kern
	2	176	2/10 innerer Ring weist Anfressen auf	beginnend vom Kern
	3	184	5/10 äußerer Ring weist Anfressen auf	beginnend von der Oberfläche (Vertiefung)
	4	169	3/10 innerer Ring weist Anfressen auf	beginnend vom Kern
	5	198	4/10 äußerer Ring weist Anfressen auf	beginnend von der Oberfläche (Vertiefung)
	6	171	3/10 innerer Ring weist Anfressen auf	beginnend vom Kern
	7	200	kein Anfressen	-
	8	200	kein Anfressen	-
	9	200	kein Anfressen	-
Vergleichs- beispiel Nr.	1	27	10/10 innerer Ring weist Anfressen auf	beginnend vom Kern
	2	55	10/10 innerer und äußerer Ring weisen Anfressen auf	beginnend vom Kern
	3	26	10/10 innerer und äußerer Ring weisen Anfressen auf	beginnend vom Kern
	4	39	10/10 innerer Ring weist Anfressen auf	beginnend vom Kern
	5	41	10/10 innerer Ring weist Anfressen auf	beginnend vom Kern
	6	63	10/10 innerer Ring weist Anfressen auf	beginnend vom Kern

Wie von der obigen Tabelle gesehen werden kann, da die Beispiele 1 bis 6 jeweils aus einem Stahlmaterial hergestellt sind, das die Anforderungen der vorliegenden Erfindung erfüllt, und somit eine Chromoxidschicht aufweisen, die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, sind sie aufgrund der Chromoxidschicht einem Eindringen des Hydrogens unzugänglich und weisen daher eine bemerkenswert verlängerte Bewertungszeit auf, verglichen mit den Vergleichsbeispielen 1 bis 6. Jedoch, weisen diese Stahlmaterialien jeweils einen zurückgehaltenen Austenit in einer Menge von weniger als 15 Vol.-% auf. Dadurch unterlagen 2 bis 5 von 10 Proben einem Anfressen.

Von den Beispielen 1 bis 6 weisen die Beispiele 3 bis 5 jeweils eine Chromoxidschicht auf, die eine Dicke aufweist, die innerhalb des gewünschten Bereichs (von 20 nm bis 200 nm) liegt, und dadurch drastisch dem Eindringen von Hydrogen durch die Chromoxidschicht ausgesetzt sind. Dadurch weisen diese Stahlmaterialien eine verlängerte Bewertungszeit auf verglichen mit den Beispielen 1, 2, 4 und 6, welche aus dem gewünschten Bereich bezüglich der Dicke der Chromoxidschicht herausfallen. Beispiele 1, 2, 4 und 6 wurden auf ihre Mikrostruktur in einem Abschnitt des inneren Rings untersucht, der einem Anfressen ausgesetzt war. Als ein Ergebnis wurden Mikrorisse, sowie ein Ausbleichen der Textur bestätigt. Beispiele 3 und 5 unterliefen Anfressen auf der Laufbahnoberfläche des äußeren Rings beginnend von Anfangsvertiefungen.

Beispiele 7 bis 9 wurden jeweils aus Stahlmaterial hergestellt, das die Erfordernisse der vorliegenden Erfindung erfüllt und hatten eine Chromoxidschicht, die eine Dicke von 20 nm bis 200 nm aufwies, und einen Gehalt von zurückgehaltenem Austenit von 15 Vol.-% bis 25 Vol.-%. Dadurch wiesen diese Stahlmaterialien eine Bewertungszeit von 200 Stunden

auf, während keine der 10 Proben einem Anfressen ausgesetzt war. Mit anderen Worten, diese Stahlmaterialien waren genügend gegen ein Eindringen von Hydrogen durch die Chromoxidschicht geschützt, und unzugänglich für ein Ausbreiten der Anfangsvertiefungen durch den hohen zurückbehaltenen Austenitgehalt und hatten daher eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen.

Vergleichsbeispiel 1 ist aus SUJ2-Stahl gebildet, welcher aus dem Schutzbereich der vorliegenden Erfindung herausfällt, und eine Chromoxidschicht aufweist, die eine Dicke von nur 1 nm aufweist, und der Gehalt von verbleibendem Austenit beträgt nur 8 Vol.-%. Dadurch erzielte das Stahlmaterial des Vergleichsbeispiels 1 eine Bewertungszeit, die nur 1/6 der berechneten Lebensdauer entspricht, und alle 10 Proben unterliefen Anfressen.

Diese Beispiele wurden auf ihre Mikrostruktur in einem Abschnitt des inneren Rings untersucht, der einem Anfressen ausgesetzt war. Als Ergebnis wurden sowohl Mikrorisse, wie auch ein Ausbleichen der Textur bestätigt.

Vergleichsbeispiel 2 weist eine Chromoxidschicht auf, die eine Dicke von 10 nm aufweist, enthält jedoch Kohlenstoff, der in das verwendete Stahlmaterial in großer Menge eingebracht wurde. Dadurch wurden große Carbide erzeugt auf der Oberfläche des Stahlmaterials, und die Chromoxidschicht war teilweise zerstört. Diese Proben wurden auf ihre Mikrostruktur bei einem Abschnitt des inneren Rings untersucht, der einem Anfressen ausgesetzt war. Als ein Ergebnis konnten sowohl Mikrorisse als auch Ausbleichen der Textur bestätigt werden.

Vergleichsbeispiel 3 weist eine Chromoxid auf, die eine Dicke von 15 nm aufweist, enthält jedoch Kohlenstoff, der in das verwendete Stahlmaterial eingebracht wurde, in geringen Mengen. Dadurch war die Härte der Laufbahnoberfläche ungenügend, und die resultierende plastische Verformung der Laufbahnoberfläche erzeugte eine Reduktion der Standzeit gegen Anfressen.

Vergleichsbeispiel 4 beinhaltet Silicon, das in das verwendete Stahlmaterial in geringer Menge eingebracht wurde. Dadurch wurde die resultierende Schneidfestigkeit während des Polierens reduziert, wodurch das Erzeugen von Wärme auf der polierten Oberfläche des Stahlmaterials unterbunden wurde. Als ein Ergebnis war die Dicke der Chromoxidschicht auf 4 nm reduziert, wodurch es im wesentlichen unmöglich für die Chromoxidschicht war, den Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen auszuüben.

Vergleichsbeispiel 5 beinhaltet Magnesium, das in das verwendete Stahlmaterial in geringer Menge eingebracht wurde. Dadurch wurde die resultierende Schneidfestigkeit während des Polierens reduziert, wodurch das Erzeugen von Wärme auf der polierten Oberfläche des Stahlmaterials unterbunden wurde. Als ein Ergebnis war die Dicke der Chromoxidschicht auf 2 nm reduziert, wodurch es im wesentlichen unmöglich für die Chromoxidschicht war, den Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen auszuüben.

Vergleichsbeispiel 6 beinhaltet ein Stahlmaterial, das die Anforderungen der vorliegenden Erfindung erfüllt, jedoch eine Chromoxidschicht aufweist, die eine Dicke von 500 nm aufweist. Die resultierende Chromoxidschicht hatte eine grobe Textur, wodurch es im wesentlichen unmöglich für die Chromoxidschicht war, den Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen auszuüben.

Wie von den vorangegangenen Ergebnissen gesehen werden kann, kann ein Wälzlager für das Eindringen von Hydrogen durch eine Chromoxidschicht unzugänglich sein und weist dadurch eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen bei Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten auf, dem fremde Materialien beigemischt sind, insoweit, als das verwendete Stahlmaterial der Anforderungen der vorliegenden Erfindung erfüllt, und eine Chromoxidschicht, die eine Dicke von nicht weniger als 5 nm bis nicht mehr als 300 nm aufweist, auf der Laufbahnoberfläche vorgesehen ist. Es kann auch gesehen werden, daß das Vorherbestimmen des verbleibenden Austenits in einem Bereich von nicht weniger als 15 Vol.-% bis nicht mehr als 25 Vol.-% es möglich macht, das Ausbreiten von Anfangsvertiefungen zu unterbinden, und dadurch drastisch die Standzeit gegen Anfressen bei Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem fremde Materialien beigemischt sind, zu verlängern.

Beispiele 11 bis 19 und Vergleichsbeispiele 11 bis 16

Ein Stahlmaterial mit Kohlenstoff (C), Silicon (Si), Magnesium (Mn), Chrom (Cr), Molybdän (Mo) und Vanadium (V) in Anteilen (Gew.-%), die in der nachfolgenden Tabelle 3 angegeben sind, Phosphor (P) und Schwefel (S), jeweils in Anteilen von nicht mehr als 0,02 Gew.-%, Sauerstoff (O) mit einem Anteil von nicht mehr als 0,0010 Gew.-%, und die ausgleichende Menge von Eisen (Fe) wurden verwendet, um einen inneren Ring und einen äußeren Ring für ein Tiefbettlaufbahnkugellager zu verwenden (JIS Modell Nummer: 6206; Außendurchmesser 62 mm; Innendurchmesser: 30 mm; Breite: 16 mm).

Der innere Ring und der äußere Ring wurden erzeugt durch Halten des Stahlmaterials, wie es ist bei einer Temperatur von 1100°C bis 1250°C in einer monooxidierenden Atmosphäre, so daß es einer Behandlung als feste Lösung unterworfen war, wodurch feinkörnige Molybdän- und Vanadiumcarbide abgelagert und verteilt werden in der Matrix, und dem anschließenden Schneiden des Materials, ausgenommen für das Vergleichsbeispiel 15. Nachfolgend wurden der innere Ring und der äußere Ring einem Härten und Anlassen ausgesetzt, so daß die Oberflächenhärte (HRC) von ihnen und der zurückbehaltene Austenitgehalt (γ_R) eingestellt wurden auf Werte, die in Tabelle 3 nachfolgend angegeben sind. Vergleichsbeispiel 15 wurde dem Härten und Anlassen frei von der Behandlung als feste Lösung ausgesetzt.

Unter Verwendung einer Aluminiumoxid-basierenden Schleifmühle oder CBN-Schleifmühle wurden diese inneren und äußeren Ringe an der Laufbahnoberfläche mit hoher Drehgeschwindigkeit poliert, so daß die Oberflächenrauigkeit der Laufbahnoberfläche von 0,01 bis 0,04 μmRa betrug. Die derart polierten inneren und äußeren Ringe wurden jeweils auf ihre Eigenschaften der Chromoxidschicht (Cr_2O_3) gemessen, die auf der Laufbahnoberfläche ausgebildet wurden. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 3 angegeben.

Das feinkörnige Molybdän- und/oder Vanadiumcarbid, das in der Matrix verteilt wurde, wurde dann unter einem Rasterelektronenmikroskop beobachtet. Die Kohlenstoffpartikel wurden einer Bildanalyse ausgesetzt, um den durchschnittlichen Partikeldurchmesser und die Anzahl von Partikeln zu bestätigen. Der durchschnittliche Partikeldurchmesser ist in der nachfolgenden Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3

		Chemische Komponente (%)						Chrom- oxid- schicht (nm)	Mo-, V- Carbide (nm)	HRC	γ R (%)
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V				
Beispiel Nr.	11	0,82	0,10	0,31	4,0	4,0	1,2	5	300	61	0
	12	0,90	0,60	0,25	5,1	-	2,0	134	235	58	0
	13	0,62	0,25	0,48	7,2	2,2	-	98	68	60	0
	14	0,78	0,23	0,35	8,0	-	0,5	106	106	61	8
	15	0,65	0,43	0,61	5,0	1,1	-	24	250	58	12
	16	0,55	0,55	1,50	9,0	1,3	0,5	300	50	58	8
	17	0,72	0,21	0,35	7,5	1,4	1,5	200	143	62	15
	18	0,61	0,35	0,40	6,9	-	0,3	8	59	59	11
	19	0,77	0,33	0,29	5,8	3,0	-	67	185	63	9
Vergleichs- beispiel Nr.	11	0,93	0,32	0,41	1,5	0,2	-	1	810	61	10
	12	0,49	0,21	0,35	5,1	1,5	1,0	51	155	55	8
	13	1,25	0,33	0,18	4,9	-	0,5	25	79	65	15
	14	0,80	0,42	0,70	8,0	0,5	-	105	500	62	8
	15	0,65	0,34	0,15	2,0	-	-	2	-	58	9
	16	0,88	0,32	0,43	1,4	-	0,7	1	275	59	11

Als Rollelement wurde eines verwendet, das durch den Vorgang des Formens einer Kugel, die einen Durchmesser von 3/8 Inch aufweist, aus einer zweiten Art von stark kohlenstoffhaltigem Chromlagerungsstahl (SUJ2) erfolgte, und dem anschließenden Aussetzen der Kugel dem Härten und Anlassen, so daß die Oberflächenhärte (HRC), die Menge des zurückbehaltenen Austenits (γ R) und die Oberflächenrauigkeit der Laufbahnoberfläche eingestellt wurden auf jeweils 63, 10 Vol.-% und von 0,003 bis 0,010 μ mRa.

Wälzlager, die diese inneren und äußeren Ringe aufweisen, die auf diese Weise erhalten werden (Beispiele 11 bis 19 und Vergleichsbeispiele 11 bis 16) und das vorangegangene Rollelement wurden dann auf der Testmaschine aus Fig. 1 montiert, die in der ersten Ausführungsform beschrieben wurde. Dadurch wurden die Wälzlager für ihre Standzeit gegen Anfressen untersucht, beim Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem Wasser beigemischt wurde.

Als Schmiermittel wurde ein kommerziell erhältliches Schmieröl verwendet, das einen maximalen Reibungskoeffizienten (μ) von 0,09 bei 40°C und 0,07 bis 100°C und eine dynamische Viskosität von 30,8 cSt bei 40°C und 5,31 cSt bei 100°C aufwies, wie dies bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 4,1 m/s und einem prozentualen Schlupf von 5% unter Verwendung einer Zweizylinder-Testmaschine ermittelt wurde. Eine Mischung des vorangegangenen Schmiermittels mit Leitungswasser in einer Menge von 5 Vol.-% wurde dann in den Öltank 6 gegeben. Das Schmiermittel wurde dann durch das Rohr 61 zirkuliert, das mit dem Filter 63 versehen war. In dieser Anordnung wurde das Schmiermittel, das mit dem Wasser vermischt war, dem Wälzlager 1 in dem Spülelement 4, frei von Verschmutzung durch fremde Materialien, zugegeben.

Bezug nehmend auf die Testbedingungen betrug die Testlast Fr 580 kgf ($P/C = 0,3$ gemäß JIS), die Testtemperatur betrug 100°C, die Drehzahl betrug 3900 U/min. und der innere Ring wurde gedreht.

Unter diesen Bedingungen wurde es dem Wälzlager 1 erlaubt, sich zu drehen, während es mit dem Schmiermittel von dem Öltank 6 versorgt wurde. Während des Rotationstests wurde die auf dem Lager erzeugte Vibration gemessen. Wenn die Vibration während der Drehung das Fünffache des Anfangswerts erreichte, wurde der Test unterbrochen, um zu sehen, ob ein Ausbrechen auftrat. 10 Sätze von Lagern wurden getestet für jedes der Beispiele und der Vergleichsbeispiele.

Wenn der Test unterbrochen wurde, wurde die bis dahin benötigte Rotationszeit für das Bewerten verwendet (Standzeit gegen Anfressen). Für diejenigen, die eine berechnete Standzeit von 160 Stunden aufwiesen, und somit für 200 Stunden getestet wurden, während derer die Vibrationen nicht das Fünffache des Anfangswerts erreichten, wurde eine Untersuchung durchgeführt, um zu sehen, ob ein Ausbrechen nach 200 Stunden von Rotation auftrat. Dadurch wurden 200 Stunden für das Bewerten verwendet. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4

		Bewertungszeit L10 (h)	Auftreten von Anfressen	Form des Anfressens
Beispiel Nr.	11	155	3/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern
	12	200	kein Anfressen	-
	13	200	kein Anfressen	-
	14	200	kein Anfressen	-
	15	200	kein Anfressen	-
	16	143	3/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern
	17	200	kein Anfressen	-
	18	125	2/10 zeigen Freßerschei- nungen	beginnend von der Oberfläche (Freßerscheinung)
	20	200	kein Anfressen	-
Vergleichs- beispiel Nr.	11	25	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern
	12	20	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern
	13	49	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern
	14	50	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern
	15	31	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern
	16	53	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern

Wie von der obigen Tabelle gesehen werden kann, da jedes der Beispiele 11 bis 19 aus Stahlmaterial gebildet ist, das den Anforderungen der vorliegenden Erfindung entspricht, weist die Chromoxidschicht eine Dicke auf von nicht weniger als 5 nm bis nicht mehr als 300 nm und sind feinkörnige Magnesiumcarbide und/oder Vanadiumcarbide, die einen Partikeldurchmesser von nicht weniger als 50 nm bis nicht mehr als 300 nm aufweisen, in der Matrix verteilt, weisen sie drastisch verlängerte Standzeiten gegen Anfressen auf, verglichen mit den Vergleichsbeispielen 11 bis 16.

Insbesondere weist jedes der Beispiele 12 bis 15, 17 und 19 jeweils eine Chromoxidschicht auf, die eine Dicke von 20 nm bis 200 nm (gewünschter Bereich) aufweist, und weisen feinkörnige Magnesiumcarbide und/oder Vanadiumcarbide auf, die einen Partikeldurchmesser von 50 nm bis 250 nm (gewünschter Bereich) aufweisen. Dadurch unterlag keine der zehn Proben einem Anfressen, sogar nach 200 Stunden Testens. Mit anderen Worten, es wird angenommen, daß der gewünschte Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen, der durch die Chromoxidschicht und das feinkörnige Magnesiumcarbid und/oder Vanadiumcarbid in genügender Weise erhalten werden kann, es möglich macht, drastisch die Standzeit gegen Anfressen des Wälzlagers zu verlängern.

Im Gegensatz dazu wiesen die Beispiele 11, 16 und 18 eine Bewertungszeit (L10 Lebensdauer) auf, die länger ist als die der Vergleichsbeispiele 11 bis 16, jedoch kürzer ist als die berechnete Lebensdauer.

Beispiel 11 zeigt den Anfressen hauptsächlich auf dem inneren Ring. Drei von zehn Proben zeigten Anfressen, der vom Kern des Stahlmaterials aus begann. Diese Proben wurden auf ihre Mikrostruktur hin in Abschnitten des inneren Rings untersucht, der Anfressen zeigte. Als ein Ergebnis konnten sowohl Mikrorisse als auch Ausbleichen der Textur bestätigt werden. Die Ergebnisse gingen wahrscheinlich zurück auf die Tatsache, daß Beispiel 11 eine Chromoxidschicht hat, die eine relativ geringe Dicke aufweist (die aus dem gewünschten Bereich herausfällt) und Carbide enthält, die einen relativ großen Partikeldurchmesser aufweisen (die außerhalb des gewünschten Bereichs liegen) und daher weniger unanfällig für das Eindringen von Hydrogen waren als die Beispiele 12 bis 15, 17 und 19.

Beispiel 16 zeigt das Anfressen hauptsächlich auf dem inneren Ring. Drei von zehn Beispielen zeigten Anfressen, das im Kern des Stahlmaterials begann. Diese Proben wurden auf ihre Mikrostruktur in Abschnitten des inneren Rings hin untersucht, der Anfressen zeigte. Als ein Ergebnis konnte ein Ausbleichen der Textur über den gesamten belasteten Bereich festgestellt werden. Das Ergebnis geht wahrscheinlich zurück auf die Tatsache, daß Beispiel 16 eine Chromoxidschicht aufweist, die eine relativ große Dicke hat (die außerhalb des gewünschten Bereichs liegt), die nicht dicht ist und daher weniger unanfällig für das Eindringen von Hydrogen als die Beispiele 12 bis 15, 17 und 19 ist.

Beispiel 18 zeigte ein Fressen in Anteilen von zwei von zehn Proben. Die Ergebnisse gehen wahrscheinlich zurück auf die Tatsache, da Beispiel 18 Vanadium aufweist, das in das verwendete Stahlmaterial in einer Menge von nur 0,3 Gew.-% eingebracht wurde, und frei von Molybdän ist, und Vanadium- und Molybdäncarbide in einer geringen Gesamtmenge darin abgelagert ist, wodurch es nicht genügend widerstandsfähig gegen Abrieb sein kann beim Betrieb mit Schmiermit-

tel unter Bedingungen, daß das Schmiermittel mit Wasser verschmutzt ist, was leicht den Schmierfilm zerstören kann. Vergleichsbeispiel 11 verwendet SUJ2-Stahl, welcher außerhalb des Bereichs der vorliegenden Erfindung liegt, weist eine Chromoxidschicht auf, die eine Dicke von nur 1 nm aufweist und feinkörnige Vanadiumcarbid und Molybdäncarbid enthält, die große Partikeldurchmesser aufweisen. Dadurch zeigte das Vergleichsbeispiel 11 eine Bewertungszeit, die nur 1/6 der berechneten Lebensdauer entsprach. Alle zehn Proben zeigten Anfressen. Diese Beispiele wurden dann auf ihre Mikrostruktur in dem Abschnitt des inneren Rings hin untersucht, der Anfressen zeigte. Als ein Ergebnis konnten sowohl Mikrorisse, als auch ein Ausbleichen der Textur bestätigt werden. 5

Vergleichsbeispiel 12 weist eine Chromoxidschicht auf, die eine Dicke von 51 nm aufweist, enthält jedoch Kohlenstoff in dem verwendeten Stahlmaterial in einer geringen Menge und zeigte daher eine ungenügende Oberflächenhärte (HRC 55) auf der Laufbahnoberfläche. Als ein Ergebnis zeigte die Laufbahnoberfläche plastische Deformation, wenn sie mit Scherbeanspruchung beaufschlagt wurde, wodurch ihre Standzeit gegenüber Anfressen verkürzt wurde. 10

Vergleichsbeispiel 13 weist eine Chromoxidschicht auf, die eine Dicke von 25 nm hat, enthält jedoch Kohlenstoff in dem verwendeten Stahlmaterial in einer großen Menge. Dadurch wurden große Carbide erzeugt auf der Oberfläche des Stahlmaterials und die Chromoxidschicht war teilweise zerstört. Als Ergebnis wurde die Standzeit gegen Anfressen verkürzt. Diese Beispiele wurden auf ihre Mikrostruktur des Abschnitts des inneren Rings hin untersucht, der Anfressen zeigte. Als ein Ergebnis konnten sowohl Mikrorisse, als auch ein Ausbleichen der Textur bestätigt werden. 15

Vergleichsbeispiel 14 weist eine Chromoxidschicht auf, die eine Dicke von 105 nm hat, enthält jedoch Molybdän in dem verwendeten Stahlmaterial in einer Menge, die außerhalb des Schutzbereichs der vorliegenden Erfindung liegt, und Carbide, die einen Partikeldurchmesser von 500 nm aufweisen. Somit, wenn unter den Bedingungen betrieben, wie z. B. Verschmutzung durch Wasser, wird es schwierig, einen Schmierfilm auszubilden, wodurch beim Wälzlager des Vergleichsbeispiels 14 es den Molybdäncarbiden nur schwer möglich ist, den Effekt des Absorbierens von Hydrogen auszuüben, wodurch ihre Standzeit gegenüber Anfressen verkürzt wird. 20

Vergleichsbeispiel 15 verwendet ein Stahlmaterial, das frei von Molybdän und Vanadium ist, und erlaubt es nicht, daß solche Carbide abgelagert werden. Darüber hinaus weist Vergleichsbeispiel 15 eine Chromoxidschicht auf, die eine geringe Dicke hat. Dadurch zeigt die Chromoxidschicht einen ungenügenden Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen. Darüber hinaus kann der gewünschte Effekt des Absorbierens von Hydrogen durch Molybdäncarbid oder Vanadiumcarbid nicht ermöglicht werden. Als ein Ergebnis wurde die Standzeit gegen Anfressen verkürzt. 25

Vergleichsbeispiel 16 erlaubt den Effekt des Absorbierens von Hydrogen durch Ablagern von Vanadiumcarbid, hat jedoch eine Chromoxidschicht, die eine geringe Dicke aufweist, und zeigt daher einen ungenügenden Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen durch die Chromoxidschicht. Als ein Ergebnis wurde die Standzeit gegen Anfressen verkürzt. 30

Wie von den vorangegangenen Ergebnissen gesehen werden kann, erlaubt ein Wälzlager einen genügend großen Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen durch eine Chromoxidschicht und des Absorbierens von Hydrogen durch feinkörnige Carbide und zeigt dadurch eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen beim Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem Wasser beigemischt ist, solange das verwendete Stahlmaterial die Anforderungen der vorliegenden Erfindung erfüllt, ein feinkörniges Molybdäncarbid und/oder Vanadiumcarbid mit einem Partikeldurchmesser von 50 nm bis 300 nm in der Matrix verteilt ist und eine Chromoxidschicht mit einer Dicke von 5 nm bis 300 nm auf der Laufbahnoberfläche vorgesehen ist. 35

Beispiele 21 bis 29 und Vergleichsbeispiele 21 bis 26 40

Ein Stahlmaterial mit Kohlenstoff (C), Silicon (Si), Magnesium (Mn), Chrom (Cr), Molybdän (Mo) und Vanadium (V) in Anteilen (Gew.-%), die in der nachfolgenden Tabelle 5 angegeben sind, Phosphor (P) und Schwefel (S), jeweils in Anteilen von nicht mehr als 0,02 Gew.-%, Sauerstoff (O) in einem Anteil von nicht mehr als 0,0010 Gew.-%, und der zugeordneten Menge von Eisen (Fe) wurde verwendet, um einen Innenring und einen äußeren Ring für ein Tiefbettkugellager zu erzeugen (JIS-Modell Nummer: 6206; Außendurchmesser: 62 mm; Innendurchmesser: 30 mm; Breite: 16 mm). Der innere und der äußere Ring wurden erzeugt durch Halten des Stahlmaterials, wie es ist bei einer Temperatur von 1100°C bis 1250°C in einer nichtoxidierenden Atmosphäre, so daß er einer Behandlung als feste Lösung ausgesetzt war, wobei feinkörnige Molybdän- und Vanadiumcarbid abgelagert und in der Matrix verteilt wurden, und dem anschließenden Schneiden des Materials, ausgenommen für das Vergleichsbeispiel 21. 45

Nachfolgend, ausgenommen das Vergleichsbeispiel 21, wurden diese inneren und äußeren Ringe Carbonitrieren ausgesetzt, d. h., einer Wärmebehandlung bei einer Temperatur von 880°C bis 960°C in einer Atmosphäre, die endothermisches Gas, angereichertes Gas und Ammoniakgas enthält, für 5 bis 10 Stunden und das anschließend abgekühlt wurde. Nachfolgend wurden diese inneren und äußeren Ringe auf einer Temperatur von 840°C bis 1050°C in einer Atmosphäre von endothermischem Gas für 0,5 bis 1 Stunde erwärmt und dann einem Ölhärten ausgesetzt. Vergleichsbeispiel 21 wurde lediglich dem Härten bei einer Temperatur von 840°C ausgesetzt und einem Anlassen bei einer Temperatur von 180°C ausgesetzt, frei von Behandlung als feste Lösung und Carbonitrieren. 50

Als ein Ergebnis dieser Wärmebehandlungen wurden die Oberflächenhärte (HRC), die Oberflächenkohlenstoffkonzentration (Oberfläche C) und der zurückbleibende Austenitgehalt (γ_R), die in Tabelle 5 angegeben sind, erhalten. Unter Verwendung einer Aluminiumoxid basierenden Schleifmühle oder CBN-Schleifmühle wurden der innere Ring und der äußere Ring poliert an der Laufbahnoberfläche, die darauf ausgebildet wurde, mit hoher Drehzahl, so daß die Oberflächenrauigkeit der Laufbahnoberfläche von 0,01 bis 0,04 μmRa betrug. Die inneren Ringe und äußeren Ringe, die derart poliert wurden, wurden dann auch hinsichtlich der Eigenschaften der Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die auf der Laufbahnoberfläche ausgebildet war, gemessen. Die Messungen sind in Tabelle 5 nachfolgend angegeben. 55

Die feinkörnigen Molybdäncarbid und/oder Vanadiumcarbid, die in der Matrix verteilt waren, wurden dann unter einem Elektronenmikroskop betrachtet. Die Carbidpartikel wurden einer Bildanalyse ausgesetzt, um den durchschnittlichen Partikeldurchmesser und die Anzahl der Partikel zu bestätigen. Der durchschnittliche Partikeldurchmesser ist in Tabelle 5 nachfolgend angegeben. 60

Tabelle 5

		Chemische Komponente (%)						Chrom-oxid-schicht (nm)	Mo-, V-Carbide (nm)	Oberfläche C (%)	HRC	γR (%)
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V					
Beispiel Nr.	21	0,25	0,10	0,31	5,0	4,0	-	5	125	1,20	58	45
	22	0,30	0,60	0,25	10,0	-	2,0	134	435	1,10	66	30
	23	0,55	0,25	0,48	8,2	2,2	1,5	300	355	1,15	67	35
	24	0,15	0,23	0,35	14,0	0,5	-	255	60	0,80	62	25
	25	0,45	0,43	0,61	10,5	1,1	-	24	143	1,15	61	40
	26	0,20	0,55	1,50	7,0	0,8	0,5	90	50	0,90	62	35
	27	0,10	1,40	0,35	12,5	0,5	-	200	70	0,70	62	25
	28	0,35	0,35	0,40	5,9	3,0	0,3	8	500	1,15	59	50
	29	0,25	0,33	0,29	13,8	-	0,5	155	85	0,90	63	30
Vergleichsbeispiel Nr.	21	0,93	0,32	0,41	1,5	0,2	-	1	810	-	62	8
	22	0,05	0,35	0,30	11,0	1,0	-	51	155	0,60	55	25
	23	0,70	0,45	0,50	12,0	0,5	0,5	25	79	1,55	67	35
	24	0,35	0,32	0,45	3,5	1,0	1,0	2	500	1,10	67	30
	25	0,45	0,40	0,35	18,0	1,5	-	100	225	1,05	63	35
	26	0,40	0,35	0,50	13,0	-	-	100	-	1,15	62	10

Als ein Wälzlager wurde eines verwendet, das durch den Vorgang des Ausbildens einer Kugel erzeugt wurde, die einen Durchmesser von 3/8 Inch hat, aus der zweiten Art von hochkohlenstoffhaltigem Chromlagerungsstahl (SUJ2), und dem anschließenden Aussetzen der Kugel dem Härten und Anlassen, so daß die Oberflächenhärte (HRC), die Menge des verbleibenden Austenits (γR) und die Oberflächenrauigkeit der Laufbahnoberfläche eingestellt wurde auf jeweils 62, 10 Vol.-% und von 0,003 bis 0,010 μmRa.

Wälzlager, die aus den derart erhaltenen Ringen und äußeren Ringen zusammengesetzt waren (Beispiel 21 bis 29 und Vergleichsbeispiele 21 bis 26), und das vorangegangene Wälzlager, wurden jeweils auf der Testmaschine montiert, die in Fig. 1 dargestellt ist. Unter diesen Bedingungen wurden diese Wälzlager hinsichtlich der Standzeit gegen Anfressen beim Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten untersucht, indem fremde Stoffe und Wasser beige-mischt war.

Als Schmiermittel wurde ein kommerziell erhältliches Schmieröl verwendet, das einen maximalen Reibungskoeffizienten (μ) von 0,09 bei 40°C und 0,07 bei 100°C und eine dynamische Viskosität von 30,8 cSt bei 40°C und 5,31 cSt bei 100°C aufwies, wie dies bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 4,1 m/s und einem prozentualen Schlupf von 5% unter Verwendung einer Zweizylinder-Testmaschine bestimmt wurde. Bezug nehmend auf die Testbedingungen betrug die Testlast Fr 580 kgf (P/C = 0,3 gemäß JIS), betrug die Testtemperatur 80°C, die Drehzahl 3900 U/m und der innere Ring wurde gedreht.

Detailliert wurden rostfreie Stahlspäne, die eine Härte von Hv von 500 und eine Größe von 74 bis 147 μm aufwiesen, 1000 ccm Schmieröl im Öltank 6 zugefügt. Die Mischung wurde dann gerührt. Das Wälzlager 1 im Spülement 4 wurde dann für 3 Minuten betrieben, während es mit dem Schmiermittel ohne den Filter 63 versorgt wurde. Mit anderen Worten wurde es dem Wälzlager 1 erlaubt, sich unter Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten zu drehen, dem Fremd-stoffe beige-mischt waren, so daß Anfangsvertiefungen erzeugt wurden auf die Laufbahnoberfläche und/oder der Roll-oberfläche.

Nachfolgend wurde das Wälzlager 1 von der Testmaschine entfernt und dann gereinigt. Der innere Ring und das Rol-lelement wurden dann ersetzt durch neue, die frei von Vertiefungen waren. Der äußere Ring, der auf diese Weise mit an-fänglichen Vertiefungen versehen wurde, wurde weiterhin verwendet. Das Wälzlager 1 wurde dann auf der Testmaschine montiert. Filter 63 wurde auf dem Rohr 61 montiert. Unter diesen Bedingungen wurde es dem Wälzlager 1 ermöglicht, in dem Spülement 4 sich zu drehen, während es mit Schmiermittel aus dem Öltank versorgt wurde, indem Leitungswasser mit einer Rate von 5 ccm pro Stunde eingetröpft wurde. In dieser Anordnung wurde das Wälzlager 1 in dem Spülement 4 mit einem Schmiermittel versorgt, das frei von Fremdstoffen war, jedoch mit Wasser verschmutzt war.

Während des Rotationstests wurde die Vibration, die in dem Lager erzeugt wurde, gemessen. Wenn die Vibration wäh-rend des Drehens das Fünffache des Anfangswerts erreichte, wurde der Test unterbrochen, um zu sehen, ob Ausbrechen auftrat. Zehn Sätze von Lagern wurden getestet für jedes der Beispiele und der Vergleichsbeispiele. Wenn der Test unter-brochen wurde, wurde die Rotationszeit, die benötigt war, bis dahin verwendet, für das Bewerten (Standzeit gegen An-fressen). Für diejenigen, die eine berechnete Lebensdauer von 160 Stunden aufwiesen und daher für 200 Stunden getestet wurden, während dessen die Vibrationen nicht das Fünffache des Anfangswerts erreichten, wurde die Überprüfung durchgeführt, ob ein Ausbrechen nach 200 Stunden Drehens auftrat. Somit wurden 200 Stunden für das Bewerten ver-wendet. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 6

		Bewertungszeit L10 (h)	Auftreten von Anfressen	Art des Anfressens	
Beispiel Nr.	21	165	3/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern	5
	22	200	kein Anfressen		
	23	178	2/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern	10
	24	200	kein Anfressen		
	25	200	kein Anfressen		
	26	175	2/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern	15
	27	200	kein Anfressen		
	28	160	3/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern	20
	29	200	kein Anfressen		
Vergleichs- beispiel Nr.	21	13	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern und der Oberflächen- schicht	25
	22	23	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern	
	23	30	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern	30
	24	21	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern	
	25	51	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern	35
	26	78	10/10 innerer Ring zeigte Anfressen	beginnend am Kern	

Wie von der nachfolgenden Tabelle gesehen werden kann, da die Beispiele 21 bis 29 jeweils aus einem Stahlmaterial ausgebildet sind, das den Anforderungen der vorliegenden Erfindung entspricht, und eine Chromoxidschicht hat, die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, und feinkörnige Molybdäncarbide und/oder Vanadiumcarbide, die einen Partikeldurchmesser von 50 nm bis 300 nm aufweisen, in der Matrix verteilt sind, weisen sie eine verlängerte Standzeit gegen Anfressen aus, verglichen mit den Vergleichsbeispielen 21 bis 26.

Insbesondere bei den Beispielen 22, 24, 25, 27 und 29 zeigte keine der zehn Proben Anfressen, sogar nach 200 Stunden Testens. Dies wird dem Umstand zugeschrieben, daß die Chromoxidschicht eine Dicke von 8 nm bis 255 nm aufweist und dadurch dicht ist und kaum zerstört werden kann, und der Partikeldurchmesser der feinkörnigen Molybdäncarbide und/oder Vanadiumcarbide im Bereich von 60 nm bis 435 nm liegt. Mit anderen Worten, da sogar wenn die Chromoxidschicht zerstört wird, ein genügender Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen durch die feinkörnigen Molybdäncarbide und/oder Vanadiumcarbide vorhanden ist, wodurch die Standzeit gegen Anfressen beim Betrieb mit Schmiermittel von hohem Reibungskoeffizienten, dem Wasser beigemischt ist, drastisch verlängert werden kann.

Im Gegensatz dazu zeigten die Beispiele 21, 23, 26 und 28 eine Bewertungszeit (L10 Lebensdauer), die nicht kürzer war als die berechnete Lebensdauer, jedoch unterhalb von 200 Stunden lag.

Beispiel 21 zeigte kein Anfressen, das von den Vertiefungen ausging, die auf der Laufbahnoberfläche des äußeren Rings während des Betriebs mit Schmiermittel, dem Fremdstoffe beigemischt waren, erzeugt wurden. Statt dessen trat das Anfressen hauptsächlich auf dem inneren Ring auf. Drei von zehn Proben zeigten Anfressen, beginnend vom Kern des Stahlmaterials. Diese Proben wurden auf ihre Mikrostruktur in Abschnitt des inneren Rings untersucht, das Anfressen zeigte. Als ein Ergebnis wurden sowohl Mikrorisse, als auch Ausbleichen der Textur bestätigt. Diese Ergebnisse sind wahrscheinlich auf die Tatsache zurückzuführen, daß die derart ausgebildete Chromoxidschicht eine Dicke von relativ geringen 5 nm aufweist und dann einen geringeren Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen erzeugt, verglichen mit den Beispielen 22, 24, 25, 27 und 29.

Beispiel 23 zeigte Anfressen hauptsächlich auf dem inneren Ring. Zwei von zehn Proben zeigten Anfressen, beginnend vom Kern des Stahlmaterials. Diese Proben wurden auf ihre Mikrostruktur in dem Bereich des inneren Rings untersucht, der Anfressen zeigte. Als ein Ergebnis wurde das Ausbleichen der Textur über den gesamten belasteten Bereich beobachtet. Die Ergebnisse sind wahrscheinlich auf die Tatsache zurückzuführen, da Beispiel 23 eine Chromoxidschicht aufweist, deren Dicke relativ große 300 nm beträgt, die nicht dicht ist, und daher an teilweiser Zerstörung der Chromoxidschicht leidet, es für Eindringen von Hydrogen weniger unzugänglich wird als die Beispiele 22, 24, 25, 27 und 29.

Beispiel 26 zeigte Anfressen hauptsächlich auf dem inneren Ring. Zwei von zehn Proben zeigten Anfressen, begin-

nend vom Kern des Stahlmaterials. Diese Proben wurden auf ihrer Mikrostruktur in dem Bereich des inneren Rings untersucht, der Anfressen zeigte. Als ein Ergebnis konnten sowohl Mikrorisse, als auch ein Ausbleichen der Textur bestätigt werden. Die Ergebnisse sind wahrscheinlich zurückzuführen auf die Tatsache, daß, da das Beispiel 26 eine Chromoxidschicht aufweist, deren Dicke relativ geringe 90 nm beträgt und feinkörnige Vanadiumcarbid und Molybdäncarbid enthält, die einen Partikeldurchmesser von relativ geringen 50 nm aufweisen, es weniger unzugänglich für das Eindringen von Hydrogen ist, als die Beispiele 22, 24, 25, 27 und 29.

Beispiel 28 zeigte Anfressen hauptsächlich auf dem inneren Ring. Drei von zehn Proben zeigten Anfressen beginnend vom Kern des Stahlmaterials. Diese Proben wurden auf ihre Mikrostruktur hin untersucht in dem Bereich des inneren Rings, der Anfressen zeigte. Als ein Ergebnis konnten sowohl Mikrorisse als auch Ausbleichen der Textur bestätigt werden. Die Ergebnisse sind wahrscheinlich zurückzuführen auf die Tatsache, da das Beispiel 28 eine Chromoxidschicht aufweist, die eine relativ geringe Dichte von 8 nm hat und feinkörnige Vanadiumcarbid und Molybdäncarbid, die einen Partikeldurchmesser von relativ großen 500 nm aufweisen, enthält, es weniger unzugänglich für das Eindringen von Hydrogen ist als die Beispiele 22, 24, 25, 27 und 29.

Vergleichsbeispiel 21 verwendet SUJ2-Stahl, der vom Rahmen der Erfindung abweicht, der eine Chromoxidschicht aufweist, die eine Dicke von nur 1 nm hat und feinkörnige Vanadiumcarbid und Molybdäncarbid aufweist, die einen großen Partikeldurchmesser aufweisen. Dadurch zeigte das Stahlmaterial des Vergleichsbeispiels 21 eine Bewertungszeit von nur 1/12 der berechneten Lebensdauer, und alle zehn Proben zeigten Anfressen. Diese Proben wurden auf ihre Mikrostruktur im Bereich des Innenrings untersucht, der Anfressen zeigte. Als ein Ergebnis wurden sowohl Mikrorisse, als auch das Ausbleichen der Textur bestätigt. Diese Proben zeigten Anfressen, beginnend vom Kern aus des Stahlmaterials, sowie von den Vertiefungen ihrer Oberfläche aus.

Vergleichsbeispiel 22 weist eine Chromoxidschicht auf, die eine Dicke von 51 nm aufweist, weist jedoch Kohlenstoff im verwendeten Stahlmaterial in geringen Mengen auf und eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration von nur 0,6% auf. Dadurch war die Oberflächenhärte der Laufbahnoberfläche ungenügend (HRC 55). Die Laufbahnoberfläche zeigte plastische Deformation, wenn sie mit Scherbelastung beaufschlagt wurde. Als ein Ergebnis zeigten alle zehn Proben Anfressen auf dem inneren Ring beginnend vom Kern des Stahlmaterials. Dadurch wurde die Standzeit gegen Anfressen verkürzt.

Vergleichsbeispiel 23 weist eine Chromoxidschicht auf, die eine Dicke von 25 nm aufweist, jedoch Kohlenstoff in verwendetem Stahlmaterial in großer Menge enthält, und eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration von 1,55% aufweist. Dadurch wurden auf der Oberfläche des Stahlmaterials große Carbid erzeugt, die eine Größe von mehr als 10 µm aufweisen, und die Chromoxidschicht war teilweise zerstört. Als ein Ergebnis zeigten alle zehn Proben Anfressen auf dem inneren Ring beginnend vom Kern des Stahlmaterials. Dadurch war die Standzeit gegen Anfressen verkürzt. Diese Proben wurden auf ihre Mikrostruktur in dem Bereich des inneren Rings untersucht, der Anfressen zeigte. Als ein Ergebnis wurden sowohl Mikrorisse als auch Ausbleichen der Textur bestätigt.

Vergleichsbeispiel 24 weist eine Chromoxidschicht auf, die eine Dicke von nur 2 nm aufweist, die nicht dicht ist. Dadurch erlaubt das Vergleichsbeispiel 24 einen verringerten Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen durch die Chromoxidschicht. Zusätzlich ist der Partikeldurchmesser der feinkörnigen Vanadiumcarbid und Molybdäncarbid, die in der Matrix verteilt sind, 500 nm, wodurch der Effekt des Absorbierens von Hydrogen durch Vanadiumcarbid und Molybdäncarbid nach dem Zerstören der Chromoxidschicht verringert wird. Als ein Ergebnis zeigten alle zehn Proben Anfressen auf dem inneren Ring, beginnend vom Kern des Stahlmaterials. Dadurch war die Standzeit gegen Anfressen verkürzt.

Vergleichsbeispiel 25 beinhaltet Chrom, das in das verwendete Stahlmaterial in einer Menge von 18% eingebracht wurde. Auf diese Weise wurden große Chromcarbid auf der Oberfläche des Stahlmaterials erzeugt, die eine Größe von mehr als 10 µm aufweisen. Als ein Ergebnis war die Chromoxidschicht unmittelbar zerstört, aufgrund ihrer schlechten Gleichmäßigkeit, obwohl sie eine genügende Dicke von 100 nm aufwies.

Vergleichsbeispiel 26 hatte keine feinkörnigen Molybdäncarbid und Vanadiumcarbid, die in der Matrix verteilt waren. Darüber hinaus betrug die Dicke der Chromoxidschicht genügende 100 nm, jedoch betrug der verbleibende Austenitgehalt nur 10%. Als ein Ergebnis zeigten alle zehn Proben Anfressen auf dem inneren Ring, beginnend von den Vertiefungen auf seiner Oberfläche. Dadurch war die Standzeit gegen Anfressen verkürzt.

Wie von der vorangegangenen Beschreibung gesehen werden kann, zeigten ein innerer Ring und ein äußerer Ring einen genügend großen Effekt des Verhinderns des Eindringens von Hydrogen durch die Chromoxidschicht und Absorbieren des Hydrogens durch die feinkörnigen Carbid nach dem Zerstören der Chromoxidschicht, wodurch es möglich ist, die Standzeit gegen Anfressen beim Betrieb mit Schmiermitteln vom hohen Reibungskoeffizienten, dem Fremdstoffe beigemischt sind, und dem Wasser beigemischt wurde, zu erhöhen insoweit, als das verwendete Stahlmaterial innerhalb des Schutzbereichs der vorliegenden Erfindung liegt, feinkörnige Molybdäncarbid und/oder Vanadiumcarbid aufweist, mit einem Partikeldurchmesser von nicht weniger als 50 nm, bis nicht mehr als 300 nm, die in der Matrix verteilt sind, eine Chromoxidschicht, die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, auf der Laufbahnoberfläche vorgesehen ist, der Gehalt des verbleibenden Austenits in der Oberflächen des verwendeten Stahlmaterials von 25 Vol.-% bis 50 Vol.-% beträgt, und die Oberflächenkohlenstoffkonzentration von 0,7 bis 1,2 Gew.-% beträgt. Insbesondere, wenn der Gehalt des Chroms in dem verwendeten Stahlmaterial in einem Bereich von 10 Gew.-% bis 14 Gew.-% liegt, kann erwartet werden, daß der innere Ring und der äußere Ring eine drastisch verlängerte Standzeit gegen Anfressen beim Betrieb mit Schmiermitteln von hohem Reibungskoeffizienten aufweist, dem Fremdmaterialien und Wasser beigemischt wurde.

Es wurde weiterhin bestätigt, daß sogar, wenn das Carbonisieren durchgeführt wird anstelle von Carbonitrieren, wie für die Beispiele 21 bis 29, die gleichen Ergebnisse wie oben genannt erhalten werden. Dieses Carbonieren wurde durchgeführt durch Erwärmen des Materials auf eine Temperatur von 880°C bis 960°C in einer Atmosphäre, die ein endothermisches Gas und ein angereichertes Gas enthält, für 10 bis 15 Stunden. Das nachfolgende Härten und Anlassen wurde unter den gleichen Bedingungen durchgeführt, wie nach dem vorgenannten Carbonitrieren.

Darüber hinaus, wenn der Gehalt an Chrom im verwendeten Stahlmaterial zu hoch ist, wird auf seiner Oberfläche Chromcarbid erzeugt, was zu der Tendenz führt, daß das Eindringen und das Verteilen von Kohlenstoff in seiner Ober-

fläche unterdrückt werden kann während dem Carbonieren und Carbonitrieren, was es schwierig macht, ein genügendes Carbonieren durchzuführen. In diesem Fall kann das Stahlmaterial dann einem Vakuumcarbonieren, Plasmacarbonieren, Acetylcarbonieren etc. unterworfen werden, um bessere Carbonierungseigenschaften zu erzielen.

Bei den vorangegangenen verschiedenen Beispielen wurde ein Tiefbettkugellager für das Testen verwendet. Jedoch können die gleichen Effekte auch für zylindrische Rollenlager, Kegelrollenlager und Tonnenrollenlager erwartet werden, die an höheren Schlupf leiden, der die Schmierbedingungen zerstören kann.

Patentansprüche

1. Wälzlager mit einem inneren Ring, einem äußeren Ring und einem Rollelement, wobei zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement erhalten wird durch Formen aus einem Stahlmaterial, das Kohlenstoff (C) von 0,55 Gew.-% bis 1,10 Gew.-% und Chrom (Cr) von 2,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-% enthält, und dann Aussetzen des derart ausgebildeten Materials einem Härten, Anlassen und Polieren; wobei eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, auf zumindest einer von einer Laufbahnoberfläche des inneren Rings, einer Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und einer Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen ist. 10
2. Wälzlager nach Anspruch 1, bei dem die Menge an verbleibendem Austenit zumindest in einer von der Laufbahnoberfläche des inneren Rings, der Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und der Rolloberfläche des Rollelementes in einem Bereich von 15 Vol.-% bis 25 Vol.-% liegt. 15
3. Wälzlager mit einem inneren Ring, einem äußeren Ring und einem Rollelement, wobei zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement erhalten wird durch Formen aus einem Stahlmaterial, das Kohlenstoff (C) von 0,55 Gew.-% bis 1,10 Gew.-%, Chrom (Cr) von 2,0 Gew.-% bis 9,0 Gew.-% und zumindest eines von Molybdän (Mo) von 1,1 Gew.-% bis 4,0 Gew.-% und Vanadium (V) von 0,3 Gew.-% bis 2,0 Gew.-% aufweist und dem anschließenden Aussetzen des derart ausgebildeten Materials einem Härten, Anlassen und Polieren; wobei zumindest eines von einem feinkörnigen Molybdänкарbid und einem feinkörnigen Vanadiumкарbid, das einen Partikeldurchmesser von 50 nm bis 300 nm aufweist, in einer Matrix verteilt ist, und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, zumindest in einer von der Laufbahnoberfläche des inneren Rings, der Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und der Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen ist. 20
4. Wälzlager mit einem inneren Ring, einem äußeren Ring und einem Rollelement, wobei zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement erhalten wird durch Formen aus einem Stahlmaterial mit einem Kohlenstoffgehalt (C) von 0,010 Gew.-% bis 0,55 Gew.-% und Chrom (Cr) von 5,0 Gew.-% bis 14,0 Gew.-%, und dem Aussetzen des derart ausgebildeten Materials einem Carbonieren oder Carbonitrieren, Härten, Anlassen und Polieren; wobei zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement nach dem Carbonieren oder Carbonitrieren eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration von 0,7 Gew.-% bis 1,2 Gew.-% aufweist; eine Menge von verbleibendem Austenit in einer von der Laufbahnoberfläche des inneren Rings, einer Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und einer Rolloberfläche des Rollelementes in einem Bereich von 25 Vol.-% bis 50 Vol.-% liegt; und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, ist zumindest auf einer von der Laufbahnoberfläche des inneren Rings, der Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und der Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen ist. 25
5. Wälzlager mit einem inneren Ring, einem äußeren Ring und einem Rollelement, wobei zumindest einer von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement erhalten wird, durch Formen aus einem Stahlmaterial mit Kohlenstoff (C) von 0,10 Gew.-% bis 0,55 Gew.-%, Chrom (Cr) von 5,0 Gew.-% bis 14,0 Gew.-%, und zumindest einem von Molybdän (Mo) von 0,5 Gew.-% bis 4,0 Gew.-% und Vanadium (V) von 0,3 Gew.-% bis 2,0 Gew.-%, und dem anschließenden Aussetzen zumindest einem von dem inneren Ring, dem äußeren Ring und dem Rollelement einem Carbonieren oder Carbonitrieren, Härten, Anlassen und Polieren; wobei zumindest eines einer feinkörnigen Molybdänкарbids und eines feinkörnigen Vanadiumкарbids, die einen Partikeldurchmesser in einem Bereich von 50 nm bis 500 nm aufweisen, in einer Matrix verteilt ist; das Material nach dem Carbonieren oder Carbonitrieren eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration von 0,7 Gew.-% bis 1,2 Gew.-% aufweist; eine Menge von zurückbehaltenem Austenit in einer von der Laufbahnoberfläche des inneren Rings, einer Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und einer Rolloberfläche des Rollelementes in einem Bereich von 25 Vol.-% bis 50 Vol.-% liegt; und eine Chromoxidschicht (Cr_2O_3), die eine Dicke von 5 nm bis 300 nm aufweist, auf einer von der Laufbahnoberfläche des inneren Rings, der Laufbahnoberfläche des äußeren Rings und einer Rolloberfläche des Rollelementes vorgesehen ist. 30
6. Wälzlager nach Anspruch 3, bei dem das feinkörnige Molybdänкарbid und/oder Vanadiumкарbid in der Matrix in einem Anteil von nicht weniger als 10 Partikeln pro $10 \mu\text{m}^2$ auf der Laufbahnoberfläche und/oder Rolloberfläche vorgesehen ist. 35
7. Wälzlager nach Anspruch 5, wobei das feinkörnige Molybdänкарbid und/oder Vanadiumкарbid in der Matrix in einem Anteil von nicht weniger als 10 Partikeln pro $10 \mu\text{m}^2$ auf der Laufbahnoberfläche und/oder Rolloberfläche vorgesehen ist. 40

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

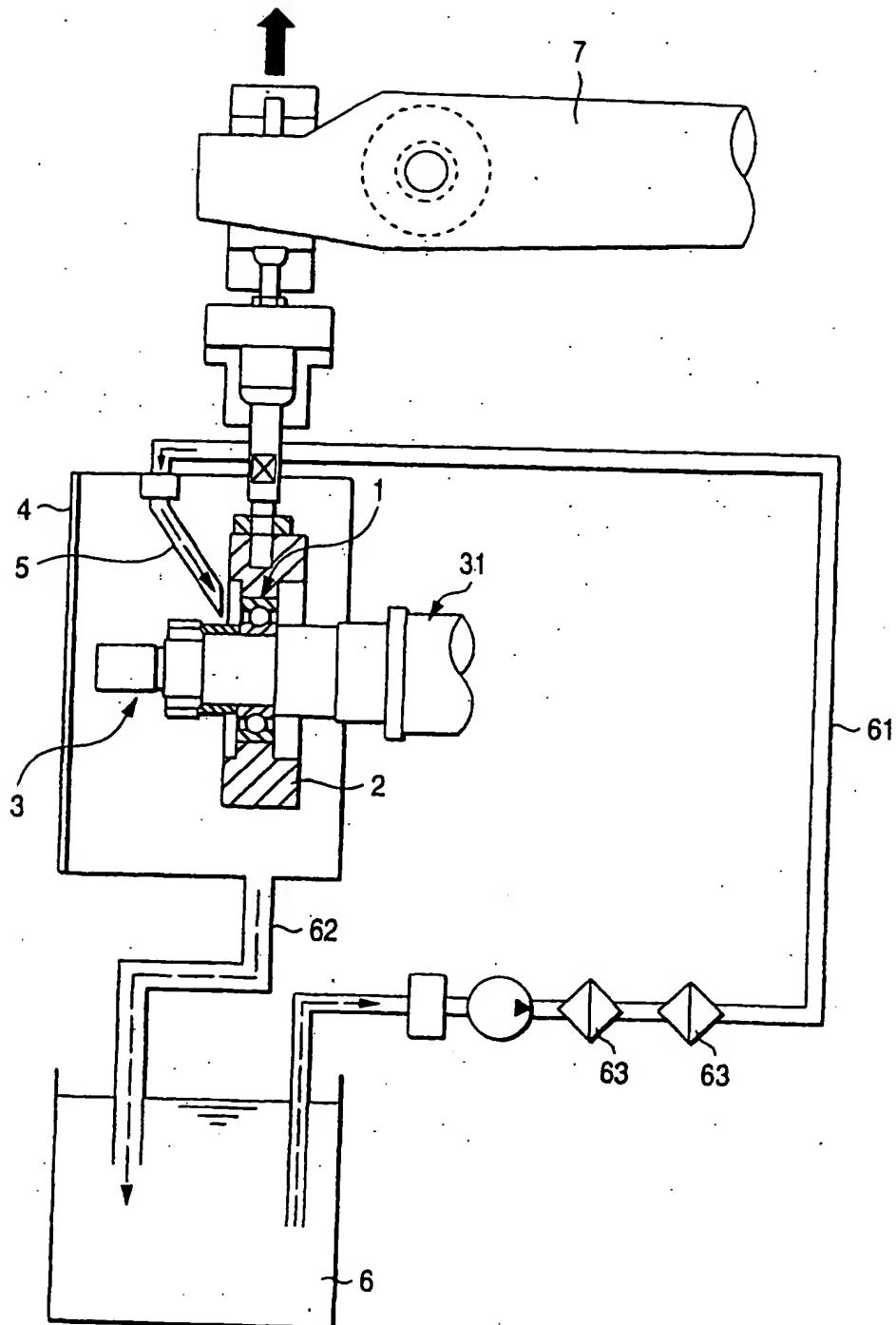


FIG. 2

